



La lotta ai cambiamenti climatici procede su due livelli: quello degli accordi internazionali, che stabiliscono obiettivi di riduzione delle emissioni di gas serra, e quello del ricorso ai meccanismi di mercato, i quali, grazie alla loro flessibilità, offrono soluzioni diverse per il raggiungimento degli obiettivi fissati.

Per quanto riguarda il primo aspetto, va sottolineato come nella Conferenza sui cambiamenti climatici, tenutasi a Bali nella prima metà del dicembre scorso, nonostante le difficoltà dei negoziati, siano stati raggiunti alcuni risultati importanti. Innanzi tutto l'adesione degli Stati Uniti, oltre che della Cina e dell'India, alla tabella di marcia del processo negoziale che si concluderà a Copenhagen nel dicembre 2009, con la definizione di nuovi impegni per il post Kyoto. In secondo luogo l'individuazione di meccanismi per attuare il trasferimento tecnologico e l'assistenza finanziaria da parte dei paesi sviluppati verso i paesi ad economia emergente ed in via di sviluppo. Il coinvolgimento degli Stati Uniti è importante, tenuto conto che è il solo paese, tra quelli dell'area Ocse, che non ha sottoscritto il Protocollo di Kyoto. Nell'articolo di Caminiti e Velardi - quest'ultima ha fatto parte della delegazione italiana presente a Bali - vengono illustrati il dibattito e i risultati della Conferenza e viene anche presentato l'Action Plan approvato. Anche l'Unione Europea è fortemente impegnata nella definizione di politiche e misure per contrastare il fenomeno dei cambiamenti climatici. Nell'articolo di Simbolotti viene fornita un'analisi e una valutazione del Strategic Energy Technology Plan (SET Plan) approvato a Bruxelles lo scorso novembre, con il quale la Commissione Europea punta decisamente sull'innovazione tecnologica per ridurre le emissioni di gas serra e garantire la sicurezza degli approvvigionamenti energetici nell'Unione. Per quanto concerne il secondo aspetto, notevoli progressi si registrano nel ricorso ai meccanismi flessibili previsti dal Protocollo di Kyoto e dalla direttiva Emission Trading e dunque nell'affermarsi di un mercato globale del carbonio. La creazione dei *carbon funds*, ossia di fondi di investimento per operare nel mercato del carbonio, ha la finalità di acquistare quote di emissione da distribuire ai partecipanti al fondo in modo proporzionale al loro investimento e di finanziare progetti nei paesi in via di sviluppo acquistandone i crediti di emissione. Su questo tema ospitiamo un importante contributo di Markandya e Nobili, l'uno economista di fama internazionale, l'altra esperta di diritto dell'ambiente. Ma i cambiamenti climatici non rappresentano l'unica grande sfida che l'umanità ha di fronte in questo inizio di XXI secolo. La sicurezza alimentare, ossia l'accesso duraturo della popolazione al cibo sano e nutriente, è un tema che si pone con forza a livello planetario. Poco meno di un miliardo di persone sono denutrite e circa cinque milioni di bambini muoiono ogni anno per denutrizione. Le cose potrebbero ulteriormente peggiorare nel prossimo futuro se si pensa che al 2030 la popolazione mondiale crescerà di altri due miliardi di persone rispetto agli attuali 6,3 miliardi. L'ingegneria genetica può rappresentare un importante strumento per il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza alimentare contenuti nella Dichiarazione del Millennio adottata dall'ONU nel 2000. Come tutte le tecnologie anche l'applicazione dell'ingegneria genetica a piante e animali può comportare rischi per la salute umana e per l'ambiente. Per questi motivi il tema degli organismi geneticamente modificati è oggetto di un dibattito acceso, spesso non confortato da una conoscenza reale dei termini della questione. L'articolo di Sonnino, esperto della FAO, su ricerca, regolamentazione e utilizzazione degli OGM nell'agricoltura dei paesi in via di sviluppo, fornisce un quadro dello stato dell'arte della problematica, illustrando sia gli aspetti positivi che quelli negativi insiti nel ricorso a questa tecnologia.

Il Direttore Responsabile  
**Flavio Giovanni Conti**

editoriale



## primo piano



4

### **IL MERCATO DEL CARBONIO: PRINCIPALI CARBON FUNDS ESISTENTI E PROGETTI FINANZIATI**

*THE CARBON MARKET: MAJOR OPERATIONAL CARBON FUNDS AND FINANCED PROJECTS*

Anil Markandya, Veronica Nobili

12

### **RICERCA, REGOLAMENTAZIONE ED UTILIZZAZIONE DEGLI ORGANISMI GENETICAMENTE MODIFICATI NELL'AGRICOLTURA DEI PAESI IN VIA DI SVILUPPO**

*RESEARCH, REGULATION AND USE OF GENETICALLY MODIFIED ORGANISMS IN AGRICULTURE IN THE DEVELOPING COUNTRIES*

Andrea Sonnino

## riflettore su



28

### **EUROPEAN SET PLAN**

**LA TECNOLOGIA AL CENTRO DELLE POLITICHE ENERGETICO-AMBIENTALI DELL'UNIONE**

*THE EU'S SET PLAN*

Giorgio Simbolotti

34

### **LA CONFERENZA DI BALI SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI**

*THE BALI CONFERENCE ON CLIMATE CHANGE*

Maria Velardi, Natale Massimo Caminiti

## studi & ricerche



44

### **IL PROGETTO INNOHYP-CA: PRODUZIONE DI IDROGENO MEDIANTE PROCESSI INNOVATIVI AD ALTA TEMPERATURA**

*THE INNOHYP-CA PROJECT: PRODUCING HYDROGEN BY INNOVATIVE HIGH-TEMPERATURE PROCESSES*

Alberto Giaconia, Giorgio Giorgiantoni, Raffaele Liberatore, Pietro Tarquini, Mauro Vignolini



## studi & ricerche



56

### TECNICHE INNOVATIVE DI "REMOTE SENSING" PER IL MONITORAGGIO DELLA VEGETAZIONE

*INNOVATIVE REMOTE SENSING TECHNIQUES FOR VEGETATION MONITORING*

Flavio Borfecchia, Luigi De Cecco, Antonio Bruno Della Rocca, Anna Farneti, Luigi La Porta, Sandro Martini, Ludovica Giordano, Claudia Trotta, Sabrina Marcocchia

70

### LA MISURA E LA STIMA DELLA RADIAZIONE SOLARE: L'ARCHIVIO DELL'ENEA E IL SITO INTERNET DELL'ATLANTE ITALIANO DELLA RADIAZIONE SOLARE

*MEASUREMENT AND ESTIMATION OF SOLAR RADIATION*

Francesco Spinelli, Euro Giovanni Cogliani, Augusto Maccari, Mauro Milone

84

### ORGANISMI GENETICAMENTE MODIFICATI (OGM)

A cura di Emilio Santoro

## appunti di



86

### DAL MONDO, DALL'UNIONE EUROPEA, DALL'ITALIA, DALL'ENEA, EVENTI, LETTURE

## cronache



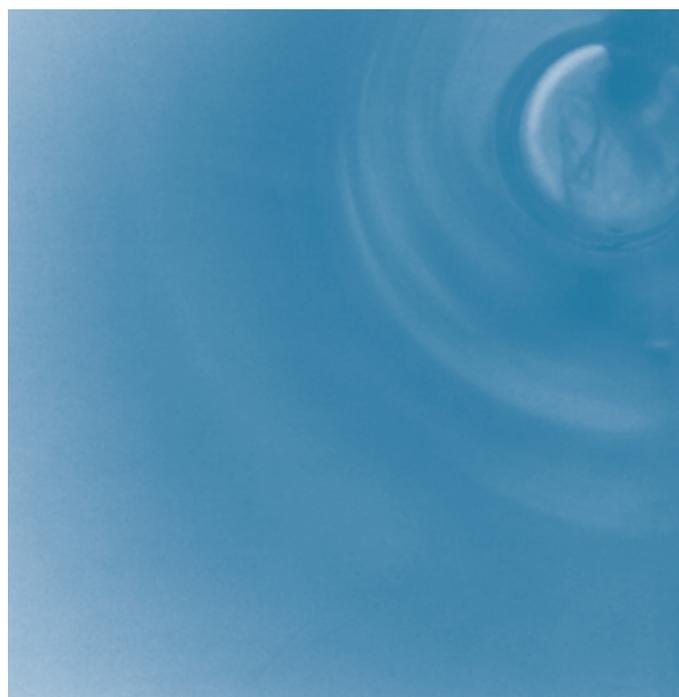
- |                     |   |
|---------------------|---|
| dal Mondo           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologie ambientali nei Paesi Bassi <b>86</b></li> <li>• Al via MEDREG <b>87</b></li> </ul>  |
| dall'Unione Europea | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gli impegni in materia di cambiamenti climatici <b>88</b></li> </ul>   |
| dall'Italia         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Al via i bandi di gara per ITER <b>89</b></li> <li>• Terzo festival delle scienze <b>89</b></li> </ul>   |
| dall'ENEA           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Premio europeo al progetto "Desire-Net" <b>90</b></li> <li>• Dall'ecobuilding al distretto energetico <b>90</b></li> <li>• Nominati Vice-Presidente e Direttore Generale <b>91</b></li> <li>• Sistema OpenGIADA <b>91</b></li> </ul> |
| Eventi              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Il Summit dell'energia ad Abu Dhabi: presentata Stapelia <b>92</b></li> <li>• Polo formativo per i Beni culturali del Lazio <b>93</b></li> </ul>   |
| Letture             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicare con gli eventi <b>94</b></li> <li>• Petrolio e dopo? <b>94</b></li> <li>• Te lo dico con parole tue <b>95</b></li> <li>• Ambiente urbano <b>96</b></li> </ul>   |



## Il mercato del carbonio: principali *carbon funds* esistenti e progetti finanziati

Anil Markandya\*, Veronica Nobili\*\*

*I meccanismi flessibili previsti dal Protocollo di Kyoto hanno via via determinato un mercato globale del carbonio, divenuto estremamente appetibile per le aziende che operano nel settore; strumenti finanziari, quali i carbon funds, ed investimenti in progetti di riduzione delle emissioni di gas serra sono stati dunque messi in campo a livello internazionale, puntando sullo sviluppo di nuove tecnologie e sull'efficienza energetica e contribuendo allo sviluppo sostenibile dei paesi che ospitano i progetti*



### Il cambiamento climatico e la risposta della Comunità internazionale

Il problema del surriscaldamento globale - e del correlato rischio di trasformazione del clima - è, per ormai quasi unanime parere del mondo scientifico, da attribuirsi all'attività antropica dell'uomo. In realtà va ricordato che il cosiddetto "effetto serra" è un fenomeno normalmente presente in natura; in condizioni di equilibrio termico, infatti, la terra emetterebbe verso gli spazi siderali lo stesso quantitativo di energia ricevuto dal sole, con una conseguente forte escursione termica tra il giorno e la notte che renderebbe il nostro pianeta decisamente inospitale. Grazie invece alla presenza di alcuni gas - detti appunto "gas serra" - primo tra tutti il vapore acqueo - che riflettono in direzione della terra le radiazioni infrarosse emesse - tale dispersione e il pericolo di forti escursioni diurne viene scongiurato. Tuttavia, si parla di equilibri naturali delicatissimi che l'uomo, a partire dalla ri-

## The carbon market: major operational carbon funds and financed projects

*The flexible mechanisms envisaged by the Kyoto Protocol have led gradually to a global carbon market that has become very appetizing for companies operating in the sector. Financial instruments such as carbon funds, and investments in greenhouse-gas-reduction projects, now operate at the international level, counting on the development of new technologies and energy efficiency, and contributing to sustainable development in the countries that host the projects*



voluzione industriale e dal conseguente utilizzo su larga scala dei combustibili fossili, ha contribuito a spezzare, con le drammatiche conseguenze che ne conseguono (aumento del numero e dell'intensità degli uragani e degli altri eventi climatici estremi, scioglimento dei ghiacciai, aumento del livello dei mari, siccità). Proprio per cercare di limitare l'effetto dannoso dei cambiamenti climatici sull'ambiente e sugli ecosistemi, la Comunità internazionale, a partire dagli anni 90, ha iniziato a studiare e ad implementare strategie per ridurre le emissioni in atmosfera dei gas serra. In tal senso, la prima risposta internazionale al problema dei cambiamenti climatici si è avuta con la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC) stipulata a Rio de Janeiro nel 1992<sup>1</sup> e in seguito, nel 1997, con il Protocollo di Kyoto<sup>2</sup>, entrato in vigore nel febbraio 2005.

Il Protocollo di Kyoto fissa dei *target* vincolanti di abbattimento delle emissioni a livello Paese. Più precisamente, prevede che i paesi industrializzati (paesi iscritti all'*annex B*) entro il 2012 riducano le loro emissioni globali dei sei principali gas serra. Viene quindi fissato per ciascun paese *annex B* un obbligo di abbattimento (ovvero un *cap*, inteso come livello massimo di emissioni-Paese per anno), per ottenere al 2012 l'obiettivo aggregato di riduzione del 5,2% rispetto ai valori di riferimento del 1990. I paesi in via di sviluppo sono invece esentati dal rispetto di vincoli di abbattimento. Quanto all'Unione Europea, l'obiettivo di abbattimento fissato per i paesi membri è ancora più stringente di quello previsto dal Protocollo di Kyoto. Viene infatti prevista una riduzione dell'8% ri-

spetto ai valori di riferimento del 1990. L'obiettivo è diviso tra i vari paesi a seconda della loro capacità di ridurre le emissioni a costi moderati. In base a questo criterio la Germania ha un *target* del -21% mentre la Spagna ha il permesso di aumentare le emissioni del 15%. L'Italia ha un *target* del -6,5%.

## I meccanismi flessibili e i mercati del carbonio

Per ridurre i costi di implementazione di tali vincoli, il Protocollo di Kyoto prevede tre meccanismi flessibili che, come si vedrà, sono alla base della nascita del Mercato Globale del Carbonio e dei Mercati Regionali.

I tre meccanismi flessibili sono il *Clean Development Mechanism* (CDM – art. 12 Protocollo di Kyoto), la *Joint Implementation* (JI – art. 6 Protocollo di Kyoto) e l'*Emission Trading* (ET – art. 17 Protocollo di Kyoto), ovvero il sistema di mercato dello scambio di emissioni. I primi due permettono ai paesi soggetti ai vincoli di Kyoto di ottenere quote utili per rispettare i propri vincoli di emissione, promuovendo progetti "puliti"; il CDM per progetti nei paesi in via di sviluppo (PVS), mentre la JI nelle economie in via di transizione.

Il sistema internazionale dell'*emission trading* si concretizza, invece, nel dar vita ad un mercato globale del carbonio, in cui i paesi firmatari del Protocollo di Kyoto con obbligo di riduzione possono acquistare e/o vendere quote di CO<sub>2</sub>, nonché, nel secondo periodo, crediti di emissione provenienti da progetti CDM e JI.

Il meccanismo flessibile previsto da Kyoto è stato applicato dalla direttiva *Emis-*

<sup>1</sup> *Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici* scaricabile su: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>.

<sup>2</sup> *Protocollo di Kyoto* scaricabile su: [http://www2.minambiente.it/sito/settori\\_azione/pia/docs/protocollo\\_kyoto\\_it.PDF](http://www2.minambiente.it/sito/settori_azione/pia/docs/protocollo_kyoto_it.PDF).



*sion Trading* (2003/87/CE)<sup>3</sup> che ha istituito il primo, e forse il più importante, mercato di scambio delle emissioni a livello regionale; tale Mercato denominato *Emission Trading Scheme Europeo* (ETS) è entrato in vigore il primo gennaio 2005.

In breve, il mercato europeo del carbonio prevede che, sulla base di un Piano Nazionale di Allocazione (PNA)<sup>4</sup>, ogni grande installazione industriale - indicata come soggetta a vincoli di abbattimento - si veda assegnati quantitativi annui di permessi di emissione (EUA), ciascuno dei quali equivale alla possibilità di emettere in atmosfera una tonnellata di CO<sub>2</sub>. Saranno proprio questi stessi permessi a diventare oggetto di scambio sul mercato europeo delle emissioni.

Ecco dunque che imprese con eccessi di permessi potranno venderli sul mercato, mentre installazioni che avranno emesso CO<sub>2</sub> per una quantità superiore ai permessi assegnati potranno acquistarne di ulteriori. Va poi aggiunto che in una seconda fase di implementazione del sistema *Emission Trading* potranno essere scambiati anche CERs e ERUs, crediti derivanti rispettivamente da progetti CDM e JI.

Il sistema dei meccanismi flessibili è stato pensato ed introdotto per ridurre i costi dati dagli obblighi di riduzione previsti dai *target* di emissione. Molti studi hanno infatti dimostrato che il costo di riduzione di una tonnellata di emissioni non è uguale tra aziende, tra installazioni industriali o tra paesi. Ecco perché il sistema flessibile gioca un ruolo fondamentale. I soggetti vincolati a un dato obiettivo che, per ridurre le emis-

sioni, sono tenuti a sostenere costi elevati, potranno diminuirli comprando i permessi di riduzione da altri soggetti con costi di abbattimento inferiori. Si può pertanto affermare che il miglior meccanismo flessibile sarebbe quello di avere un mercato globale delle emissioni. Ciò non è tuttavia possibile poiché, come detto, i paesi in via di sviluppo non sono soggetti ad alcun vincolo di emissione. Proprio per risolvere questo problema sono stati creati i CDM che, come già accennato, permettono ai paesi con *target* di emissione di acquistare riduzioni dai paesi che ne sono privi. I CDM si basano in realtà sul principio del mutuo beneficio; il paese acquirente compra diritti di emissione a un costo inferiore rispetto a quello che avrebbe dovuto sostenere senza ricorrere a questo meccanismo, mentre il paese venditore, oltre a ricevere il pagamento dei permessi, acquista nuove e più pulite tecnologie che potranno aiutarlo a promuovere lo sviluppo sostenibile. Va infatti precisato che uno dei criteri di eleggibilità di un progetto CDM è proprio il contributo allo sviluppo sostenibile che deve essere apportato al PVS.

Il paese investitore (paese Annex I) otterrà quindi dei crediti di emissione (CERs) grazie all'investimento "pulito" fatto nel paese in via di sviluppo (paese non Annex I). I crediti di emissione che il paese Annex I otterrà sono equivalenti alla differenza tra le emissioni che si ritiene si sarebbero prodotte se il progetto non fosse stato promosso e quelle - logicamente inferiori - realmente emesse in atmosfera grazie allo sviluppo del CDM. Va precisato che il computo della *baseline*, o scenario di riferimen-

3 Direttiva 2003/87/CE (direttiva *Emission trading*) scaricabile su: [http://europa.eu.int/eur-lex/pri/it/oj/dat/2003/l\\_275/l\\_27520031025it00320046.pdf](http://europa.eu.int/eur-lex/pri/it/oj/dat/2003/l_275/l_27520031025it00320046.pdf).

4 I Piani Nazionali di Allocazione (PNA) avranno durata quinquennale, eccezion fatta per il primo periodo coincidente con il triennio 2005-2007, e dovranno essere redatti da ciascun paese membro ed approvati dalla CE.



to, ha costituito uno dei problemi più rilevanti. La definizione di una corretta metodologia di computo diventa infatti essenziale ai fini del rispetto del sistema Kyoto, con riferimento ai vincoli globali di abbattimento. Va poi aggiunto che, per la ragione appena menzionata, affinché un CDM garantisca il rilascio di CERs, è necessario che i titoli siano oggetto di verifica e certificazione da parte di un ente terzo e Indipendente.

Tuttavia, l'incertezza circa la corretta applicazione delle procedure di verifica e certificazione appena menzionate rende l'attuale mercato dei CERs un mercato in cui gli investimenti risultano rischiosi; ciò ha una diretta conseguenza sul prezzo di scambio dei CERs che, come logico immaginare, riflette tale rischio (il rischio è che i CERs non si generino, ovvero che non vengano certificati). La stessa procedura viene applicata anche ai progetti JI che, come già precisato, generano ERUs invece che CERs, ma sono equivalenti ai CDM per quanto attiene la disciplina che li regola.

I CERs e anche gli ERUs, ricavati rispettivamente da progetti CDM e JI e certificati dall'ente terzo, potranno così essere utilizzati dal soggetto investitore per assolvere al proprio obbligo nazionale di emissione, ovvero potranno essere negoziati sul mercato delle emissioni.

In tal senso va precisato che, con riferimento al sistema ETS, nel primo periodo di applicazione della direttiva *Emission Trading* (2005-2007) gli scambi di CERs e anche di ERUs - derivanti da progetti JI - sono avvenuti in modo diretto tra le parti interessate ("OTC", ovvero "over the counter") e i termini (prezzi e strutture) dei contratti non sono stati resi pubblici. Nel secondo periodo di applicazione della direttiva

(2008-2012) sarà consentito, in base al disposto della direttiva *linking* (direttiva 2004/101/CE), anche lo scambio sul mercato comunitario di quote ET con certificati CERs e ERUs derivanti da progetti CDM e JI. Quello che pertanto nel tempo dovrebbe accadere con riferimento ai prezzi di EUAs, CERs e ERUs è una loro convergenza anche se, al momento, gli ostacoli maggiori a che ciò avvenga risiedono sia nella maggiore alea legata ai contratti *forward* per i CERs - per i rischi di cui si è detto - sia al fatto che il prezzo delle EUAs non ha ancora raggiunto il suo equilibrio, poiché risulta ancora assente l'offerta dei paesi dell'Est Europa.

Da quanto finora brevemente accennato si può notare come il mercato del carbonio sia in realtà un mercato ancora molto incerto e segmentato in cui vengono scambiati diritti ad emettere CO<sub>2</sub> (in realtà per ora viene scambiata la sola CO<sub>2</sub>, ma è prevista un'estensione anche agli altri gas ad effetto serra) e in cui la stessa CO<sub>2</sub> viene considerata come una *commodity*.

Il sistema, nonostante l'alto grado di aleatorietà del bene scambiato, fa registrare rispetto al primo anno di operatività (2005) un *trend* in costante crescita sia con riferimento ai volumi scambiati, sia con riferimento al relativo valore finanziario. Per citare solo alcuni dati, il valore complessivo degli scambi sui mercati del carbonio ammontava nel 2005 a quasi 9,5 mld di euro, di cui oltre 7 mld provenienti dalla compravendita di permessi di emissione europei (EUA)<sup>5</sup>.

Nel 2006 il mercato è cresciuto di quasi tre volte rispetto ai citati valori del 2005, con un valore complessivo degli scambi di circa 23 mld di euro, di cui 19 mld di euro provenienti dalla compravendita

<sup>5</sup> Fonte: Point Carbon, CMA 2006 Per maggiori dettagli sui *trend* 2005 dell'Emission Trading europeo: Renato de Filippo, "Mercato del carbonio, uno sguardo all'emission trading europeo", in [www.ambientediritto.it](http://www.ambientediritto.it) del 24/09/2006.



di EUA e 4 mld di euro dalla compravendita di CERs e ERUs<sup>6</sup>.

Questi dati assolutamente incoraggianti e i vincoli sempre più stringenti legati al rispetto del Protocollo di Kyoto e della direttiva *Emission Trading*, costituiscono sia per attori istituzionali che per attori privati che operano sul mercato del carbonio, un forte incentivo allo studio e alla creazione di nuovi strumenti finanziari.

### I principali *Carbon Funds*

I *carbon funds* sono fondi di investimento creati per operare nel mercato del carbonio. La loro finalità è duplice, essi infatti svolgono sia attività di *trading* per acquistare, al prezzo più conveniente, quote di emissione (EUAs, AAUs) da distribuire ai partecipanti al fondo in misura proporzionale al loro investimento, sia attività di finanziamento diretto di progetti in paesi in via di sviluppo o in economie in transizione, nonché di acquisto dei crediti di emissione (CERs, ERUs) generati da questi progetti.

Attualmente va precisato che la maggior parte dei fondi che operano sul mercato del carbonio si dedica all'ultima delle finalità indicate, cioè all'acquisto di crediti di emissione generati dal CDM e dalla JI.

Va inoltre precisato che i *carbon funds* possono appartenere a tre differenti tipologie a seconda di quale sia il principale investitore di riferimento. Si hanno così fondi governativi, fondi misti e fondi privati.

I fondi governativi vedono come investitori di riferimento i governi nazionali. Sono infatti creati per aiutare gli stessi a rispettare gli obblighi di riduzioni delle emissioni di gas serra come previsti

dal Protocollo di Kyoto e, per l'Europa, dalla direttiva *Emission Trading*. L'attività principale che li caratterizza è quella di sviluppo di progetti CDM e JI e, soprattutto, di acquisto di crediti generati dai citati progetti. I fondi di natura governativa rappresentano quasi la metà dei *carbon funds* esistenti.

Anche i fondi misti perseguono la stessa finalità dei fondi governativi, ma in essi gli investitori sono soggetti pubblici e soggetti privati e, anche per i fondi misti, la gestione è generalmente affidata alla *World Bank*. Questa tipologia rappresenta circa il 30% dei fondi esistenti. Va poi ricordato che il primo *carbon fund* è stato proprio un fondo misto - il *Prototype Carbon Fund* (PCF) - lanciato nel 1999 dalla *World Bank*, e che altri importanti fondi sempre lanciati dalla *World Bank* tra il 2003 e il 2005 sono il *BioCarbon Fund*, il *Community Development Carbon Fund*, il *Danish Carbon Fund* e l'*Italian Carbon Fund*.

Restano poi i fondi privati. In essi gli investitori di riferimento possono essere di due tipi: imprese private soggette a vincoli di emissioni, ovvero istituzioni finanziarie. Il *trend* relativo alla creazione di questi fondi registra dal 2005 (anno di entrata in vigore del Protocollo di Kyoto e di istituzioni dell'ETS) una rilevante e veloce crescita. Le attività prevalenti oggetto di tali fondi sono: attività di acquisto e di commercializzazione di CERs e di ERUs, attività di gestione e di finanziamento di progetti CDM e JI, nonché attività di *trading*, *hedging* e *brokerage*.

I fondi privati rappresentano attualmente circa il 20% dei fondi esistenti, ma sono in costante crescita soprattutto da parte del settore elettrico che, come facile intuire, è uno dei settori più pena-

<sup>6</sup> Fonte: World Bank. Per maggiori dettagli: Karen Capoor e Philippe Ambrosi, "State and Trend of the Carbon Market 2007", World Bank publication, Washington, D.C. - May 2007.



lizzati dai vincoli di Kyoto e dalla direttiva *Emission Trading*.

Per fare solo un paio di esempi di fondi privati si può ricordare: l'*European Carbon Fund* (ECF)<sup>7</sup>, nonché lo ICECAP<sup>8</sup>.

Il primo è un fondo lanciato nel 2005 in cui gli investitori di riferimento sono 13 importanti istituzioni finanziarie europee. Il fondo ha una capitalizzazione di 142 milioni di euro e finanzia progetti CDM e JI legati all'efficienza energetica, alle energie rinnovabili, nonché alla gestione degli sprechi e alla gestione di processi industriali sostenibili. Il suo *focus* geografico è molto esteso e comprende l'America Latina, l'Asia, l'Europa orientale il Medio Oriente e l'Africa.

L'ICECAP vede invece la partecipazione in qualità di investitori di sole società industriali (tra cui anche ENEL Trade spa). Questo fondo è stato lanciato nel 2004 e finanzia tutti i tipi di progetti tranne quelli relativi all'energia nucleare.

Si può osservare da quanto finora esposto come, indipendentemente dalla tipologia del fondo, i *carbon funds* finanziano progetti CDM e JI investendo prevalentemente nel settore dell'energia rinnovabile, dell'efficienza energetica, dei rifiuti, delle biomasse. Inoltre, dal punto di vista della collocazione geografica i progetti sono realizzati prevalentemente in Asia e in America Latina. Si può pertanto concludere dicendo che i *carbon fund* sono fortemente legati alla filosofia sottesa alla finanza dello sviluppo. Gli obiettivi prioritari dei fondi sono infatti quelli di:

- promuovere investimenti nel settore della protezione dell'ambiente, puntando sullo sviluppo di nuove tecnologie e sull'efficienza energetica;
- contribuire allo sviluppo sostenibile dei paesi che ospitano i progetti;

- rispettare i vincoli di emissione previsti dal Protocollo di Kyoto, sfruttando i meccanismi flessibili previsti.

### I progetti finanziati dai *Carbon Funds*

Come si è visto nel precedente paragrafo i diversi fondi finora creati, oltre ad operare sul mercato del carbonio per acquistare certificati di riduzione e quote di emissione, sono in prevalenza utilizzati per finanziare progetti CDM nei paesi in via di sviluppo.

Va tuttavia precisato che la procedura per l'approvazione di un CDM è abbastanza complessa. Ogni paese potenziale ospite di progetti deve infatti designare un'autorità nazionale con il compito di approvare e di certificare che un dato CDM può realmente contribuire al perseguimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile del paese.

Vi è inoltre un *Executive Board* centrale previsto dal Protocollo di Kyoto che approva le metodologie di valutazione dei progetti, accredita le organizzazioni che validano e certificano i progetti e mantiene un registro dei medesimi. Va poi sottolineato come lo sviluppo di un progetto CDM in un PVS sia un'operazione lunga e costosa, ragione quest'ultima alla base dell'iniziale ritardo nell'avvio di questo meccanismo flessibile. In tal senso, si ricorda che i primi progetti sono stati registrati nel 2003, ma i primi certificati di riduzione sono stati approvati solo nel 2005.

Da allora, comunque, il processo di approvazione dei CDM, così come le metodologie per la loro eleggibilità, sono state meglio definiti e velocizzati. Si pensi che a maggio del 2005 le tonnellate di CERs generate da tre progetti sono

7 Per maggiori informazioni: [www.europeancarbonfund.com](http://www.europeancarbonfund.com)

8 Per maggiori informazioni: [www.icecapltd.com](http://www.icecapltd.com)



state solo 240.000 e solo 26 progetti sono stati registrati. Nel maggio 2007 invece le tonnellate di CERs generate dai progetti sono state 141 milioni e i progetti che hanno ottenuto la registrazione sono stati 657.

Dei progetti promossi, circa la metà sono nel settore energetico, mentre al settore agricolo, a quello chimico e a quello manifatturiero appartiene l'8% dei progetti ciascuno. I settori che invece non hanno promosso CDM sono quello dei solventi, quello delle costruzioni e quello dei trasporti.

Tuttavia, nonostante questi progressi sostanziali, molto ancora deve essere fatto se si vuole che i CDM giochino il ruolo che sarebbe loro proprio. L'UE, infatti, per la restante fase di Kyoto - fino cioè al 2012 - intende acquistare tramite progetti CDM circa 500-600 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub>.

Nella fase post 2012 le previsioni dell'UE sono di acquistare una quantità ancora maggiore di CERs. Ecco perché c'è molto fermento nel dibattito internazionale relativamente a quanto si dovrebbe espandere lo strumento dei CDM e a quanto li si dovrebbe rendere progetti più semplici dal punto di vista della procedura di registrazione, nonché meno costosi dal punto di vista delle transazioni.

In conclusione, si deve aggiungere che l'avvio del mercato dei CDM è stato reso possibile grazie al supporto di istituzioni internazionali come la *World Bank* che ha largamente finanziato i progetti attraverso la creazione di appositi fondi. L'intervento della *World Bank* ha avuto un peso rilevante nel promuovere la crescita del mercato dei CDM; la solidità e la credibilità internazionale dell'Istituzione ha infatti permesso sia di sostenere le spese relative alle transazioni della prima fase di sviluppo del mercato, sia di offrire maggiori garanzie di sicurezza sui progetti, permettendo agli investitori di comprare

azioni che provengono da un portafoglio di progetti, così da ridurre i rischi associati all'investimento fatto su un unico CDM. Dopo questa prima fase, che si potrebbe definire di *start-up* del mercato in cui, come si è detto, il soggetto pubblico ha giocato il ruolo di attore protagonista, si comincia a registrare un crescente aumento della partecipazione di soggetti privati come promotori e ideatori di fondi privati (per i dettagli vedere il precedente paragrafo).

## Conclusioni

In conclusione, da quanto esposto emergono alcune considerazioni finali che è necessario riassumere per permettere al lettore di meglio comprendere il funzionamento dell'attuale mercato del carbonio. Più precisamente:

1. va sottolineato come vi siano due tipi di finanza del carbonio che si stanno sviluppando al momento. Uno è legato al mercato del carbonio e alle relative transazioni; queste ultime sono in crescita per quanto riguarda l'Europa, ma dovrebbero essere estese anche ad altri paesi, primi tra tutti gli USA. In questo mercato compratori e venditori commerciano permessi attraverso il *trading* oppure operano fuori dal mercato mediante scambi tra privati. Questa situazione potrebbe mutare a favore di un aumento dei *trading* sul mercato qualora progetti su larga scala per la riduzione delle emissioni - come ad esempio quelli relativi all'attività di sequestrazione del carbonio - dovessero essere promossi ed implementati. Inoltre, si potrà avere un'espansione del mercato del carbonio qualora i diritti di emissione non vengano completamente allocati, ma al contrario ne venga lasciata una parte per la vendita.
2. Il secondo tipo di finanza del carbonio è, invece, quello legato ai progetti CDM nei paesi in via di sviluppo, e JI nei paesi con economie in transizione, laddove uno de-



gli obiettivi perseguiti è la riduzione delle emissioni di gas serra. Questi progetti spesso necessitano di un soggetto finanziatore economicamente solido, poiché chi intende acquistare crediti di emissioni non sempre può o vuole finanziare direttamente i progetti. Ecco spiegata la crescente necessità di creare nuovi *carbon funds*. Questi ultimi, più la domanda di CERs aumenterà, con volumi crescenti soprattutto da parte del settore privato, più avranno un ruolo centrale nel mercato del carbonio, diventandone un importante strumento finanziario. In tal senso, un rilevante ruolo nel promuovere e nel creare questi fondi sarà giocato da attori pubblici; questi ultimi avranno un ruolo centrale anche nel finanziare investimenti in infrastrutture, specialmente nel settore elettrico, che risulta tra i più coinvolti rispetto al problema delle emissioni di gas serra.

3. Va precisato che attualmente l'*Emission Trading Scheme* (ETS) copre circa la metà (46%) del totale delle emissioni di CO<sub>2</sub> per i paesi UE e un terzo delle emissioni di gas serra dell'UE. Se la copertura dovesse aumentare, includendo soprattutto il settore dei trasporti, il mercato del carbonio crescerebbe di molto e con esso anche il bisogno di *carbon finance*.

4. Da ultimo, è prevedibile immaginare che nella fase *post Kyoto* lo schema di *Emission Trading* verrà adottato anche dagli USA e da altri paesi con *target* di riduzioni dei gas serra. I differenti schemi potrebbero essere collegati in modo da creare un più ampio e strutturato mercato delle emissioni. Questa è tuttavia solo un'ipotesi. Vi è infatti un acceso dibattito circa la possibilità di utilizzare altri strumenti per limitare le emissioni di gas serra. Una delle opzioni più dibattute è quella relativa alla possibilità di introdurre un sistema basato sulla *carbon tax*. Se questa opzione venisse scelta le previsioni appena fatte di crescita del *carbon market* e della *carbon finance* sarebbero completamente da rivedere. L'introduzio-

ne di un sistema basato sulla *carbon tax* implicherebbe infatti l'assunzione di un ruolo centrale nella gestione delle emissioni da parte dei governi dei paesi coinvolti e non più da parte del mercato del carbonio.



\**Anil Markandya*, Lahore (Pakistan), 1945, economista (Ph.D. in Environmental Economics, London School of Economics). Dal 1996 è Professore di Economia presso l'università di Bath in Inghilterra e dal 2005 responsabile del programma di ricerca "Sustainability Indicators and Environmental Valuation" presso la Fondazione Eni Enrico Mattei. Dal 2001 è *lead author* del III e IV Assessment Report dell'IPCC. Nel corso della sua carriera è stato consulente di molti istituti come la World Bank, le Nazioni Unite, la FAO, la Commissione Europea (DG VIII, XI e XII), l'OCSE, oltre a Ministeri e Istituzioni. Ha pubblicato numerosi articoli su riviste internazionali e più di 200 fra libri e rapporti. Vincitore del premio Mazzotti per "Blueprint for a Green Economy" (1989), di una quota simbolica del Premio Nobel per la Pace 2007 in qualità di *lead author* del 4th Assessment WG III dell'IPCC e di un premio (secondo classificato) per un *paper* presentato al *20th World Energy Congress* (Roma 2007).



\*\* *Veronica Nobili*, Como, 1974, avvocato, è esperta di diritto dell'ambiente - con particolare interesse per gli aspetti legali legati all'attuazione del Protocollo di Kyoto - di responsabilità amministrativa degli enti (D.Lgs 231/2001) e di responsabilità sociale delle imprese. Dal 2003 al 2007 è stata ricercatrice presso la Fondazione Eni Enrico Mattei.



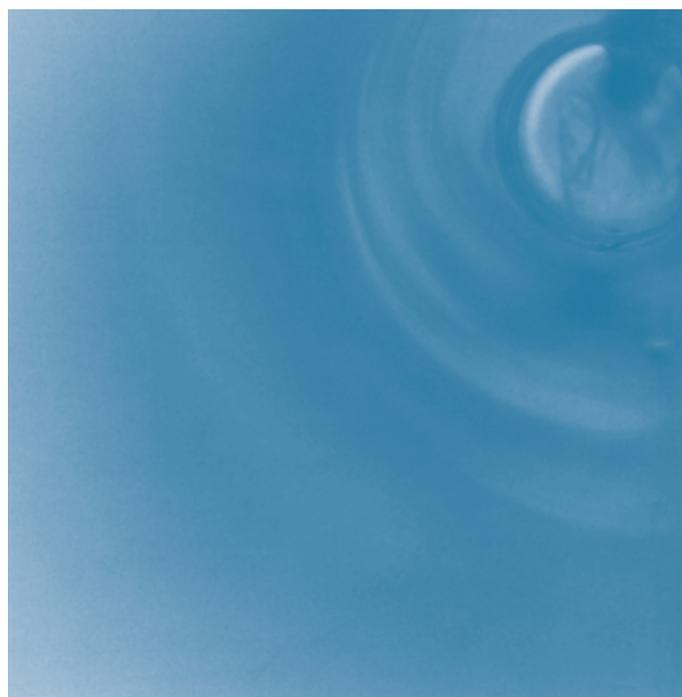
## Ricerca, regolamentazione ed utilizzazione degli organismi geneticamente modificati nell'agricoltura dei paesi in via di sviluppo

Andrea Sonnino\*

*È necessario un rinnovato sforzo a livello internazionale per superare le barriere politiche, normative, economiche, finanziarie e sociali che impediscono all'ingegneria genetica e ai suoi prodotti di combattere la fame e la povertà e promuovere lo sviluppo delle aree rurali dei paesi più poveri*

## Research, regulation and use of genetically modified organisms in agriculture in the developing countries

*Greater international efforts are needed to overcome the political, legislative, economic, financial and social barriers that prevent genetic engineering and its products from fighting hunger and poverty and promoting rural development in the poorest countries*



I progressi tecnologici della "rivoluzione verde" hanno fino ad ora permesso di produrre cibo sufficiente per fare fronte all'incremento demografico. La disponibilità di cibo per persona è anzi addirittura aumentata del 18% rispetto a metà degli anni 90. La rivoluzione verde ha migliorato inoltre le condizioni di vita di milioni di agricoltori. Purtroppo questi risultati non sono stati conseguiti in maniera omogenea in tutte le aree geografiche e per tutti gli strati della popolazione.

La conseguenza di questi squilibri dello sviluppo agricolo è che 854 milioni di persone sono tuttora cronicamente denutrite, che la denutrizione causa la morte di circa 5 milioni di bambini per anno, che 1,2 miliardi di persone, soprattutto nelle aree rurali, vivono tuttora in povertà assoluta, potendo contare su meno di un dollaro al giorno per il loro sostentamento. Questi problemi potrebbero essere ulteriormente esacerbati dalla continua crescita demografica, che nel 2030 agguincerà altri 2 miliardi di bocche da



## La rivoluzione verde

Con "rivoluzione verde" si intende il processo di adozione di innovazioni tecnologiche in campo agrario che ha avuto luogo in varie parti del mondo negli anni 50 e 60 e che ha permesso di aumentare in maniera significativa le produzioni di alcune derrate alimentari di base, soprattutto di cereali. L'inizio della rivoluzione verde è fatto comunemente risalire al 1944, quando la Rockefeller Foundation creò in Messico un istituto per aumentare il prodotto agricolo delle fattorie messicane. Lo scienziato americano Norman Borlaug incrociò varietà di frumento di bassa taglia, quindi capaci di sostenere forti concimazioni azotate senza il pericolo di rotture dello stelo (il cosiddetto allettamento) e varietà altamente produttive, ma di alta taglia, e ottenne frumenti di taglia contenuta capaci di grandi produzioni. L'introduzione delle nuove varietà, accompagnata da un più largo uso di fertilizzanti, produsse presto dei risultati sorprendenti: il Messico passò in pochi anni dal dover importare metà del suo fabbisogno di frumento ad essere autosufficiente, fino ad essere capace nel 1964 di esportare mezzo milione di tonnellate di grano. In realtà, questo approccio di miglioramento genetico era già stato utilizzato dal ricercatore italiano Nazzareno Strampelli, che nei primi anni del '900 ottenne varietà di frumento a bassa taglia, decisive per vincere la cosiddetta "battaglia del grano" lanciata dal regime fascista. Dopo i successi ottenuti in Messico, le innovazioni tecnologiche della rivoluzione verde furono esportate in altre parti del mondo e trovarono applicazione anche per altre piante coltivate, soprattutto per il riso. La crescita della produzione che ne risultò fu tale da consentire all'agricoltura di tener testa alla crescita della popolazione e di aumentare addirittura la produzione pro capite. Il lavoro di Norman Balaug fu premiato nel 1970 con il Nobel per la pace, in riconoscimento del grande contributo dato all'alleviamento della fame e quindi alla prevenzione di conflitti sociali o tra nazioni. A causa delle condizioni climatiche e delle carenze infrastrutturali e politiche, le innovazioni della rivoluzione verde si sono rivelate difficilmente applicabili nell'Africa sub-sahariana, che ancora oggi soffre di carestie e di insufficiente produzione alimentare. Gli aumenti produttivi ottenuti sono stati comunque accompagnati anche da problematiche, in quanto sono stati a volte pagati dal deterioramento delle risorse naturali o dall'accentuazione delle iniquità sociali. È pertanto importante fare tesoro delle lezioni che scaturiscono sia dai successi che dai limiti della rivoluzione verde.

sfamare, e dal continuo degrado delle risorse naturali, che sta erodendo la stessa base fisica e biologica della produzione agricola<sup>1</sup>.

Questi fatti hanno motivato i 191 Stati membri dell'ONU ad adottare nel settembre del 2000 la Dichiarazione del Millennio, che li impegna a rag-

<sup>1</sup> In questo documento, col termine produzione agricola si intende la produzione delle coltivazioni, degli allevamenti zootecnici e dell'acquacoltura, delle foreste e della pesca. Similmente il termine agricoltura viene utilizzato in questo articolo nella sua accezione più ampia, considerando l'insieme dei quattro settori.



giungere entro l'anno 2015 gli otto Obiettivi di Sviluppo del Millennio (*Millennium Development Goals* o MDG). Il primo Obiettivo di Sviluppo del Millennio concerne l'eliminazione della povertà estrema e della fame e stabilisce il traguardo di dimezzare, entro il 2015, la percentuale di persone che vivono con meno di un dollaro al giorno e di persone che sono denutrite. Questo obiettivo deve essere coniugato al raggiungimento degli altri, in particolare del settimo, che si propone di assicurare la sostenibilità ambientale.

La sicurezza alimentare è definita come accesso fisico ed economico permanente di tutta la popolazione al cibo sano e nutriente di cui necessita per soddisfare i propri fabbisogni e le proprie preferenze alimentari per una vita sana ed attiva<sup>2</sup>, ed è pertanto la risultante di quattro elementi essenziali: (I) disponibilità adeguata di alimenti; (II) accesso al cibo da parte di tutta la popolazione; (III) stabilità nel tempo della disponibilità e dell'accesso; (IV) possibilità di utilizzazione del cibo, considerando per esempio la disponibilità dei combustibili necessari per la cottura. La sicurezza alimentare può essere raggiunta solo attraverso strategie che integrino interventi sociali, economici, finanziari, strutturali, politici e tecnologici. Nessuna innovazione tecnologica è pertanto capace da sola di incidere significativamente sulla sicurezza alimentare dei paesi in via di sviluppo (PVS). L'accesso a tecnologie tradizionali e innovative è però un fattore fondamentale per lo svilup-

po agricolo e quindi per l'eliminazione della fame e la riduzione della povertà delle popolazioni rurali. Il Consiglio Economico e Sociale (*Economic and Social Council* - ECOSOC) delle Nazioni Unite ha rilevato, in una risoluzione del 2004<sup>3</sup>, che la maggior parte dei PVS ha poche probabilità di raggiungere il primo Obiettivo di Sviluppo del Millennio se questi non assegnano priorità a scienza e tecnologia e se non investono in ricerca almeno l'1% del loro PIL.

L'aumento della produzione agricola, necessario per assicurare adeguata disponibilità di alimenti ad una popolazione crescente e sempre più urbanizzata e per migliorare il tenore di vita delle popolazioni rurali, può essere raggiunto attraverso due differenti strategie: espandere la superficie coltivata o aumentare la produzione nelle aree attualmente coltivate. La prima strategia si scontra con la concorrenza esercitata dalla crescente domanda di terreni per usi non agricoli e, in molte aree geografiche, con la limitatezza delle superfici disponibili, oltre a causare la riduzione di aree forestali o comunque naturali. Si calcola pertanto che l'aumento di superfici coltivate può contribuire all'aumento di produzione agricola per non più del 20% del necessario. La seconda strategia comporta un'intensificazione delle coltivazioni, che può assicurare fino al 10% degli aumenti produttivi necessari, e un forte sviluppo tecnologico, che assicuri al medesimo tempo la sostenibilità ambientale della intensificazione colturale e che può contri-

<sup>2</sup> Il termine sicurezza alimentare è la traduzione in italiano del termine inglese *food security* ed è spesso confuso con la qualità igienico-sanitaria dei prodotti alimentari (in inglese *food safety*, preferenzialmente tradotto come sicurezza degli alimenti).

<sup>3</sup> UN Economic and Social Council (ECOSOC) Resolution 2004/68 "Science and Technology for Development" (E/2004/31).



buire con il 70% del totale agli aumenti produttivi necessari. Tale sviluppo tecnologico deve integrare l'adozione di migliorate pratiche agronomiche e zootecniche (fertilizzazione, irrigazione, lavorazione del suolo, mangimistica, tecniche riproduttive ecc.) con l'uso di varietà di piante coltivate e razze animali più resistenti alle avversità ambientali ed a patogeni e parassiti e con superiori capacità produttive.

L'umanità persegue, fin dagli albori della civiltà, il fine di migliorare le piante coltivate e gli animali allevati. Passando dalla caccia e dalla raccolta di prodotti spontanei all'allevamento di bestiame e alla coltivazione, l'uomo ha intrapreso più o meno coscientemente un processo di profonda trasformazione degli animali e delle piante, dirigendo la loro evoluzione e modellandoli secondo le proprie esigenze. Questo processo graduale ha prodotto le moderne piante coltivate e gli animali domestici che sono radicalmente differenti dai loro progenitori naturali<sup>4</sup>.

I recenti spettacolari progressi delle scienze della vita e le nuove strumentazioni stanno rapidamente ampliando le conoscenze sulle piante, sugli animali e sui microrganismi, offrendo nuove opportunità di guidarne l'evoluzione verso il soddisfacimento delle esigenze umane. L'ingegneria genetica può essere quindi considerata come una moderna applicazione di conoscenze avanzate al miglioramento genetico di piante coltiva-

te, microrganismi utili e animali in produzione zootecnica. Gli obiettivi sono gli stessi perseguiti in tutta la storia dell'agricoltura: aumentare e stabilizzare le produzioni; migliorarne la qualità nutrizionale o tecnologica; controllare malattie e infestazioni che distruggono oltre un terzo del prodotto agricolo; ridurre i costi di produzione, consentendo così a più ampi strati di popolazione di accedere ai beni e servizi prodotti; migliorare il tenore di vita delle popolazioni rurali.

Come tutte le tecnologie, l'applicazione dell'ingegneria genetica alle piante coltivate, ai microrganismi utili ed agli animali domestici, oltre a portare possibili benefici per agricoltori e consumatori, può causare potenziali rischi per la salute umana ed animale e per l'ambiente. Le biotecnologie in generale e l'ingegneria genetica possono pertanto rappresentare un poderoso strumento per il raggiungimento degli Obiettivi di Sviluppo del Millennio ed in particolare della sicurezza alimentare, se debitamente integrate con altre tecnologie, se indirizzate alla soluzione dei problemi dei piccoli produttori agricoli nei paesi più poveri e se debitamente accompagnate da adeguate misure di biosicurezza<sup>5</sup>. Mentre le altre biotecnologie e le loro applicazioni sono comunemente accettate senza problemi particolari, gli OGM sono diventati oggetto di un dibattito molto acceso e, a volte, carico di emotività.

4 Sonnino A. (2002) La domesticazione delle piante e degli animali, in: Aspetti socio-economici ed ambientali nell'applicazione delle biotecnologie in agricoltura ed agroindustria. S.T.E.S. - Scienziati e Tecnologi per l'Etica dello Sviluppo; Centro di Bioetica Università Cattolica del Sacro Cuore; F.I.D.A.F.-Federazione Italiana Dottori in Agraria e Forestali; Regione Lazio, Roma.

5 Per biosicurezza si intende l'insieme delle misure necessarie per evitare i rischi per la salute umana e per la conservazione dell'ambiente derivati dall'uso di organismi infettivi o da OGM nella ricerca scientifica o nelle pratiche commerciali. Vedi FAO (2001) Glossary of biotechnology for food and agriculture. Roma ([http://www.fao.org/biotech/index\\_glossary.asp](http://www.fao.org/biotech/index_glossary.asp)).



## La controversia sugli OGM

L'adozione di OGM in agricoltura ha generato una controversia pubblica di un'asprezza difficilmente riscontrabile per altre tecnologie agricole. I sostenitori degli OGM, tra i quali militano il settore privato e la maggioranza di ricercatori e scienziati, insistono sulle grandi potenzialità che offre l'ingegneria genetica, e affermano nel contempo che i rischi della loro adozione sono inesistenti o comunque gestibili. Molti gruppi di consumatori e organizzazioni ambientaliste al contrario ritengono che i vantaggi degli OGM siano minimi o incerti e comunque fungibili con altre tecnologie più sicure e sostengono che esistono effetti negativi pericolosi per la salute umana e per l'ambiente. La forte polarizzazione del dibattito ha spesso spinto sia sostenitori che oppositori a basare le loro analisi più su argomenti emozionali e filosofici che su solide evidenze scientifiche. I termini della controversia sono stati inoltre amplificati dai *media*, a volte in termini corretti, ma molto più spesso con toni sensazionalistici ed esagerati. Gli agricoltori e il largo pubblico si trovano nel mezzo, confusi o addirittura frastornati da una polemica violenta e apparentemente inconciliabile, chiaramente alimentata da forti interessi economici, e frequentemente non riescono a formarsi un'opinione e ad adottare i comportamenti conseguenti. La polarizzazione del dibattito ha avuto come effetto collaterale anche quello di gettare ombra su tutte le altre biotecnologie, che pure possono apportare e già stanno apportando un grosso contributo al miglioramento delle produzioni agricole nei PVS<sup>6</sup>. Gli organismi internazionali, tra cui la FAO, cercano di fornire informazione neutrale, bilanciata, e scientificamente corretta, e di dipanare così i termini sempre più aggrovigliati di questo confronto, ma i loro sforzi sono tuttora insufficienti a riportare serenità e coerenza al dibattito in corso. Questa attività delle organizzazioni internazionali ha soprattutto l'obiettivo di assistere le istanze politiche dei PVS nell'adozione di decisioni politiche informate e coerenti con le loro agende di sviluppo.

### Stato di sviluppo e adozione nei PVS

#### *Diffusione attuale della coltivazione di piante transgeniche*

Nel 2007 le coltivazioni di piante geneticamente modificate nei PVS ha raggiunto i 49,4 milioni di ettari, su un totale globale di 114 milioni di ettari<sup>7</sup>. La diffusione delle colture OGM nei PVS è stata molto rapida, considerando che nel 1997 esse ricoprivano 1,6 milioni di ettari, e comunque

il ritmo di crescita per anno è stato più veloce nei PVS che nei paesi industrializzati. I PVS che hanno approvato ufficialmente OGM per la coltivazione a scopi commerciali sono Argentina, Brasile, Colombia, Honduras, Messico, Paraguay e Uruguay in America Latina, Sudafrica in Africa, e Cina, India, e Filippine in Asia. In Cile sono state autorizzate coltivazioni di OGM (soprattutto mais) finalizzate alla produzione di sementi. La posizione nell'emisfero meridionale permette, infatti, di

6 Dhlamini Z., C. Spillane, J.P. Moss, J. Ruane, N. Urquiza, A. Sonnino (2005) Status of research and application of crop biotechnology in developing countries. FAO, Roma.  
(<http://www.fao.org/docrep/008/y5800e/y5800e00.htm>)

7 James C. (2007) Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2007. ISAAA Briefs 37.



produrre sementi in contro stagione rispetto all'emisfero opposto, e di raddoppiare quindi il numero di generazioni possibili per anno. Fino ad ora non è stata autorizzata la diffusione a livello commerciale di animali geneticamente modificati, anche se in alcuni paesi sono in corso alcune prove in ambiente confinato con bovini, caprini e pesci transgenici.

La tabella 1 riporta i più importanti OGM approvati e coltivati commercialmente nei PVS. La diffusione degli OGM nei PVS, ancorché rapida, è limitata a poche specie migliorate per pochi caratteri di interesse agrario, soprattutto per la produzione di derrate non destinate alla alimentazione umana e, cioè, soia tollerante ad alcuni erbicidi, mais resistente ad insetti parassiti e tollerante ad alcuni erbicidi, cotone resistente ad insetti parassiti, oltre ad alcune altre a minore diffusione. L'adozione degli OGM è stata inoltre abbastanza disomogenea nelle diverse aree geografiche: adozione importante in America Latina e Asia Sud-Orientale, marginale in Europa Orientale e Africa Sub-Sahariana e nulla in Medio Oriente, Africa Settentrionale e Asia Centrale.

L'OGM di gran lunga dominante è la soia tollerante al glifosate, che è largamente coltivata in America Latina, soprattutto, ma non esclusivamente, da aziende agricole medio-grandi. L'utilizzazione delle varietà di soia transgenica è accompagnata dalla pratica della semina diretta che, oltre alle implicazioni ambientali che verranno discusse più avanti, permette di semplificare le operazioni colturali e di accorciare i tempi di lavorazione. Ciò consente in alcune condizioni di coltivare la soia in secondo raccolto, in successione a frumento, con i connessi vantaggi economici per le aziende agrarie. Per quanto riguarda le aziende a conduzione familiare, la soia tollerante agli erbicidi permette invece di sostituire le operazioni di scerbatura manuale e, di conseguenza, di espandere la superficie investita a questa coltura, nei casi in cui la disponibilità di manodopera è una condizione limitante. La rapida espansione della coltivazione della soia è stata certamente sostenuta da una favorevole dinamica dei prezzi sul mercato mondiale ed ha considerevolmente contribuito alla forte espansione delle economie agricole dei paesi latino-

**Tabella 1 – I più importanti OGM approvati e coltivati commercialmente nei PVS**

<i>Specie</i>	<i>Carattere migliorato</i>	<i>Paese in cui l'OGM è stato ottenuto</i>	<i>Paese in cui l'OGM è coltivato</i>
Garofano	Colore blu del fiore	Australia	Colombia
Cotone	Resistenza ai lepidotteri (gene Bt)	USA	Argentina, Brasile, Cina, Colombia, Messico, India, Sudafrica
Cotone	resistenza ai lepidotteri	Cina	Cina, India
Mais	resistenza ai lepidotteri	USA	Argentina, Honduras, Filippine, Sudafrica, Uruguay
Mais	tolleranza al glufosinate	USA	Argentina
Peperone	resistenza a virosi	Cina	Cina
Pioppo	resistenza a insetti	Cina	Cina
Pomodoro	resistenza a virosi	Cina	Cina
Soia	tolleranza al glifosate	USA	Argentina, Brasile, Paraguay, Uruguay



americani. La diffusione della soia transgenica, ottenuta dal settore privato negli Stati Uniti, è stata resa possibile dalla presenza in alcuni paesi sudamericani, soprattutto in Argentina, di un forte sistema di moltiplicazione e distribuzione di sementi, di un buon sistema di ricerca che ha permesso di incorporare il transgene in varietà adatte ad un'ampia gamma di condizioni agroclimatiche locali, di un quadro legislativo chiaro e completo, di una struttura amministrativa in grado di applicare in maniera rapida ed efficiente la legislazione, di moderne infrastrutture per l'immagazzinamento, la lavorazione e il trasporto del prodotto.

Il mais resistente alla piralide è coltivato in diversi PVS, tra cui Argentina, Messico e Filippine. L'esperienza più significativa è forse quella del Sudafrica, dove mais transgenico a granella bianca, che in tutta l'Africa meridionale è tradizionalmente destinato all'alimentazione umana, è coltivato dal 2001. Nel 2006, il mais transgenico aveva raggiunto il 44% della superficie coltivata a mais in questo paese. Il cotone trasformato geneticamente con il gene del *Bacillus thuringiensis* (Bt) che conferisce resistenza ai lepidotteri parassiti è diffuso in vari PVS, sia in America Latina che in Asia dove, al contrario della soia e del mais, ha trovato diffusione soprattutto tra i piccoli agricoltori. Si calcola, infatti, che varietà di cotone transgenico sono coltivate da più di 9 milioni di picco-

le aziende agrarie, su una superficie totale di circa 10 milioni di ettari, in gran parte in Cina e India, dove ha permesso una riduzione dell'uso di pesticidi tale da compensare il maggior costo delle sementi e da assicurare un vantaggio economico. Il diminuito uso di pesticidi ha inoltre determinato, oltre al vantaggio ambientale, anche una riduzione dei casi di avvelenamento da pesticidi tra gli operatori agricoli. Altre piante transgeniche sono coltivate in vari PVS su superfici meno estese, come il garofano blu prodotto in Colombia e il peperone ed il pomodoro resistenti alle virosi coltivati in Cina. Il pioppo resistente agli insetti, con il quale sono state impiantate alcune centinaia di ettari in Cina, è l'unica pianta forestale geneticamente modificata coltivata a livello commerciale.

#### Le iniziative di sviluppo di OGM

Ad eccezione di alcune varietà di cotone, di peperone, di pomodoro e di pioppo resistenti agli insetti coltivate in Cina, tutti gli OGM coltivati nei PVS sono stati ottenuti dal settore privato in paesi industrializzati, in prevalenza negli Stati Uniti, e sono stati sviluppati per soddisfare il mercato interno, e hanno poi trovato un'applicazione secondaria in altre aree geografiche. Questo significa che gli OGM oggi utilizzati sono stati sviluppati per soddisfare le esigenze di imprese agricole medio-grandi, completamente meccanizzate, operanti in ambienti temperati, e quindi

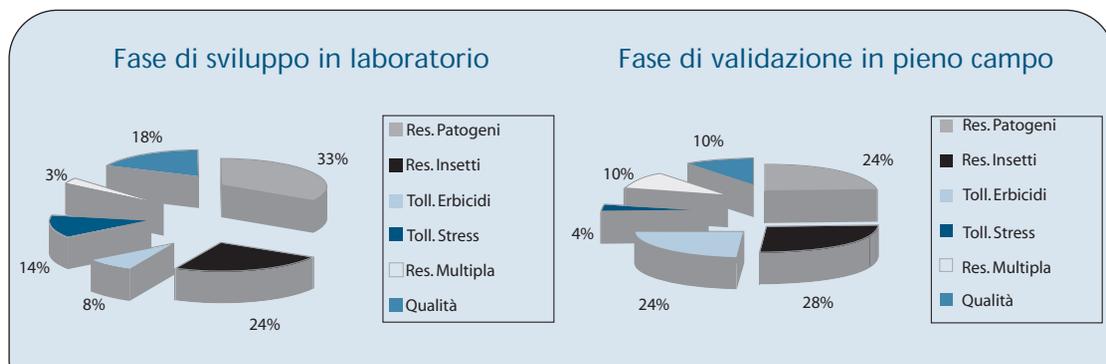


Figura 1

Iniziative di ricerca per lo sviluppo in laboratorio e la sperimentazione in pieno campo di OGM nei PVS, per carattere migliorato. (I dati sono espressi in percentuale del totale)

Fonte: FAO-BioDeC



diverse da quelle tipiche nei PVS, per lo più piccole aziende, con scarsa meccanizzazione e limitate risorse finanziarie per accedere ai mezzi di produzione e situate in ambienti tropicali o subtropicali.

La figura 1 riassume i dati presenti nella base di dati FAO-BioDeC<sup>8</sup> relativi alle iniziative di sviluppo, sperimentazione e commercializzazione di OGM nei PVS, divise per carattere migliorato. Questi dati indicano che in circa 45 PVS esistono programmi di ricerca per lo sviluppo di OGM, di cui circa 20 ormai consolidati e che stanno producendo risultati promettenti, e gli altri ad un livello che varia da uno stato embrionale a uno di avanzamento medio. Iniziative di ricerca a livello di sperimentazione e validazione in pieno campo sono state intraprese in circa 30 PVS. È inoltre interessante notare come gli sforzi endogeni siano rivolti alla trasformazione genetica per caratteri adatti a risolvere i problemi produttivi locali. Infatti, molte iniziative di ricerca sono indirizzate allo sviluppo di resistenze a patogeni o a parassiti o a stress abiotici, e pertanto a rendere più stabili le produzioni e limitare le perdite produttive o a contenere l'uso di presidi chimici e quindi i costi di produzione, oltre che a migliorare le qualità nutrizionali degli alimenti prodotti e quindi ad arricchire le diete delle popolazioni. Gli obiettivi privilegiati dai sistemi nazionali di ricerca dei PVS sono pertanto diversi da quelli perseguiti dal settore privato dei paesi industrializzati, che ha focalizzato i propri sforzi sulla tolleranza agli erbicidi e sulla resistenza agli insetti erbivori. Similmente, la ricerca dei PVS sta concentrando i propri programmi non solo sul-

le grandi colture, come mais, soia e cotone, ma anche su piante di importanza per i loro sistemi agricoli, come il caffè, la canna da zucchero, la palma da olio, le piante da frutta tropicale, tra cui l'ananas, la banana, il mango e la papaia. Purtroppo molte piante importanti per migliorare la sicurezza alimentare e combattere la povertà, quali la cassava, la patata dolce, il sorgo, i legumi tropicali, sono tuttora trascurati totalmente o considerati in misura non sufficiente. La presenza di tanti progetti di ricerca<sup>9</sup> a diversi stadi di sviluppo testimonia in ogni caso il grande impegno che molti PVS stanno dedicando alla biotecnologia allo scopo di intensificare in modo sostenibile i loro sistemi agricoli.

La disparità di risultati tra i programmi di biotecnologia agricola del settore privato dei paesi industrializzati e quelli del sistema di ricerca pubblico nei PVS è conseguenza diretta della grande differenza di entità degli investimenti effettuati. All'inizio di questa decade, l'investimento in ricerca sulle biotecnologie agricole delle 10 più grandi multinazionali ammontava a circa 1,5 miliardi di dollari<sup>10</sup>. Nello stesso periodo Brasile, Cina e India investivano in ricerca agricola circa 500 milioni di dollari ciascuno, di cui meno del 10% era destinato alle biotecnologie agricole. Gli investimenti degli altri PVS erano meno consistenti, cosicché la loro spesa totale in ricerca biotecnologica per l'agricoltura non eccedeva il 4% del totale mondiale, mentre il restante 96% era concentrato nei paesi industrializzati. Nemmeno i 15 Centri Internazionali di Ricerca coordinati dal CGIAR<sup>11</sup>, che costituiscono il più grande sistema pubblico di ricer-

8 *Biotechnologies in Developing Countries* (FAO-BioDeC) Consultabile alla URL [http://www.fao.org/biotech/inventory\\_admin/dep/default.asp](http://www.fao.org/biotech/inventory_admin/dep/default.asp)

9 Nella base di dati FAO-BioDeC sono considerate 930 iniziative di ricerca per lo sviluppo o la valutazione di OGM.

10 Pingali (2007) Will the Gene Revolution reach the poor?: Lessons from the Green Revolution. Testo della Mansholt Lecture presentata alla Università di Wageningen il 26 gennaio 2007.

11 Consultative Group for International Agricultural Research.

ca agricola attivo nei PVS, hanno bilanciato in maniera significativa gli investimenti privati in biotecnologia agricola: la loro spesa per il miglioramento delle piante coltivate assomma, infatti, a meno di 300 milioni per anno, di cui meno del 10% è destinato alla biotecnologia.

### Rischi per ambiente e salute umana

I sistemi nazionali di biosicurezza debbono valutare su base scientifica i benefici ed i rischi di ogni singolo OGM e autorizzarne il rilascio nell'ambiente per fini sperimentali o commerciali solo quando siano tecnicamente ed economicamente fattibili misure appropriate per minimizzare i rischi connessi. Essi debbono inoltre assicurare una corretta gestione dei rischi medesimi ed un attento monitoraggio degli effetti successivi al rilascio.

I rischi posti dagli OGM possono essere classificati secondo diversi criteri, per esempio secondo la loro gravità. Qui la presentazione è articolata a seconda che i potenziali effetti avversi danneggino i produttori agricoli, la società in generale, la salute umana o l'ambiente.

#### *Rischi per i produttori agricoli dei PVS*

I produttori agricoli sono i primi destinatari dei benefici derivanti dalla utilizzazione di OGM, ma essendo coinvolti nella loro utilizzazione, sono anche esposti direttamente ai rischi derivanti dal loro impiego. Ad esempio è possibile che la sostituzione di varietà tradizionali o ecotipi locali con un piccolo numero di cultivar geneticamente modificate causi la perdita di variabilità delle colture, contribuendo così alla loro erosione genetica. Le varietà locali perdute possono contenere caratteri e quindi geni d'interesse immediato o futuro. Le banche di germoplasma attive in tutto il mondo ed i programmi di conservazione *in situ* delle risorse genetiche non sempre contrastano efficacemente la tendenza alla sem-

plificazione della base genetica delle piante coltivate, in realtà cominciata con l'introduzione delle varietà ottenute attraverso programmi di miglioramento genetico convenzionale, ma che potrebbe essere accentuata o accelerata dalla adozione degli OGM. Una base genetica semplificata comporta inoltre una minore plasticità delle coltivazioni e quindi una peggiore resilienza a fronte di infezioni di patogeni, di infestazioni di parassiti o di sfavorevoli condizioni ambientali.

Nei casi in cui gli OGM rispondono alle esigenze dei piccoli produttori agricoli dei PVS, deve essere assicurato l'accesso a questa innovazione tecnologica anche ai produttori meno dotati di risorse, mediante la fornitura di credito agrario per l'acquisto delle sementi migliorate, spesso più costose delle sementi tradizionali, in quanto gravate dal pagamento delle *royalties*. Inoltre la fornitura di sementi deve essere accompagnata da adeguata consulenza tecnica per assistere i piccoli produttori agricoli nelle modifiche delle tecniche produttive tradizionali necessarie per beneficiare appieno degli OGM adottati. In molti PVS i servizi di assistenza tecnica ai produttori agricoli sono molto deboli e poco efficienti e non sono pertanto in grado fornire i servizi necessari, e i possibili benefici della innovazione tecnologica possono quindi essere vanificati da una sua applicazione erranea. La coltivazione su larga scala di OGM può portare ad una diminuzione dei prezzi internazionali delle derrate agricole prodotte. In questo caso gli agricoltori dei paesi in cui gli OGM medesimi non sono adottati possono subire una perdita di competitività nei confronti dei loro colleghi operanti in paesi adottatori e nel lungo periodo venire espulsi dal mercato internazionale.

La cattiva percezione da parte del pubblico contribuisce, in molti casi, a restringere il mercato dei prodotti alimentari



derivati da OGM. I rischi relativi a possibili problemi per la commercializzazione, con particolare riferimento alle esportazioni, sono spesso presi in considerazione dai Comitati Nazionali di Biosicurezza. Per esempio, in Argentina sono stati autorizzati solo quegli OGM che, oltre ad essere stati valutati come sicuri, erano anche già autorizzati dall'Unione Europea e i cui prodotti potevano pertanto essere esportati in Europa, come la soia tollerante all'erbicida glifosate. Il rilascio della papaia transgenica resistente al virus delle macchie ad anello (*Papaya Ringspot Virus* o PRSV) non è stato autorizzato in molti paesi asiatici perché non ancora approvato in Giappone, paese forte importatore. I possibili problemi per le esportazioni hanno scoraggiato alcuni PVS dall'adottare gli OGM, anche se i loro commerci sono intrattenuti soprattutto con paesi in cui non esiste nessuna regolazione delle importazioni. Questo è per esempio il caso di quasi tutto il commercio internazionale interno all'Africa.

Collegato al problema di accettazione da parte del mercato nei paesi importatori di derrate alimentari è il problema della segregazione necessaria per assicurare la coesistenza tra coltivazioni di OGM, coltivazioni tradizionali (non contenenti OGM) e coltivazioni biologiche. Dato che i prodotti di queste coltivazioni possono avere prezzi differenziati tra loro e che contaminazioni del prodotto di una di queste pratiche agricole col prodotto di un'altra pratica agricola possono in alcuni casi determinare una perdita di valore commerciale, può essere richiesto di mantenere separate le produzioni. Le tecnologie necessarie non sono nuove e non pongono difficoltà tecniche di rilievo, ma comportano un costo aggiuntivo per i produttori agricoli.

Alcuni particolari OGM presentano poi dei rischi specifici. Per esempio, l'uso continuato di un OGM tollerante ad un erbicida, e

il conseguente uso ripetuto del medesimo erbicida sullo stesso terreno, possono portare all'insorgenza di infestanti resistenti all'erbicida stesso e quindi difficili da controllare. Questo fenomeno è ben conosciuto perché si verifica già in molte occasioni con colture convenzionali a causa dell'uso eccessivo e ripetuto di un diserbante. La soluzione a tale problema consiste nell'introduzione di più varietà transgeniche della stessa specie tolleranti ad erbicidi diversi, in modo da permettere una rotazione dei principi attivi utilizzati per la pratica del diserbo sullo stesso appezzamento. Questa misura trova un grosso ostacolo nei lunghi periodi necessari per le procedure autorizzative per i nuovi OGM. Un esempio di questo problema è rappresentato dalla soia tollerante al glifosato, che potrebbe essere affiancata da varietà tolleranti ad altri erbicidi, tuttora in esame presso le autorità di molti paesi. Un simile rischio è posto anche dalle piante trasformate per resistenza ad insetti erbivori. Per esempio, l'uso esteso di piante di mais trasformate con il gene del Bt, che conferisce resistenza alla piralide, esercita indubbiamente una pressione selettiva molto forte sulle popolazioni dell'insetto, che può causare l'immediata diffusione di eventuali mutazioni genetiche per resistenza al prodotto del gene del Bt. La strategia adottata per ridurre questo rischio consiste nell'istituzione dei cosiddetti "rifugi" o zone dell'azienda agricola seminate con mais convenzionale non resistente alla piralide, in modo da ridurre la pressione selettiva esercitata sulle popolazioni dell'insetto. L'efficacia di questa strategia, è però dubbia, soprattutto perché non sempre accompagnata da adeguata assistenza tecnica ai produttori agricoli e quindi non sempre applicata in modo corretto.

#### *Rischi per la società in generale*

La commercializzazione degli OGM solleva la questione del diritto ad una scelta



informata dei consumatori, che deriva dal concetto etico dell'autonomia degli individui. Questo principio può essere applicato, per esempio, rendendo obbligatoria l'etichettatura degli alimenti derivati da OGM, per fare in modo che il consumatore sappia cosa sta consumando e sia messo in grado di prendere decisioni consapevoli. Bisogna però considerare che l'etichettatura dei prodotti alimentari derivati da o contenenti OGM comporta un costo addizionale che va inevitabilmente a scaricarsi sul prezzo degli alimenti a detrimento dei consumatori stessi. Per poter attuare una scelta consapevole sugli OGM e intraprendere le azioni conseguenti, inoltre, il consumatore deve avere accesso ad un'informazione corretta, completa, neutrale e bilanciata, e ciò non è sempre il caso nei PVS, particolarmente per gli strati più disagiati della popolazione<sup>12</sup>.

Il dibattito sull'adozione degli OGM nella pratica agricola conferisce grande rilievo al rispetto del diritto alla partecipazione democratica nel processo decisionale. La società richiede, infatti, di essere attivamente coinvolta nell'adozione di decisioni che possono avere effetti sulla propria salute e sull'ambiente. La società in generale potrebbe partecipare in varie fasi dei processi decisionali, a cominciare dalla formulazione della politica nazionale di biosicurezza e allo sviluppo del quadro legislativo di regolamentazione dell'uso degli OGM, per continuare con il processo autorizzativo di singoli OGM e con la successiva gestione dei rischi connessi con il loro rilascio nell'ambiente a fini sperimentali o commerciali<sup>13</sup>. Il diritto alla partecipazione demo-

cratica nelle decisioni relative agli OGM è fra l'altro riconosciuto dalla Convenzione di Aarhus<sup>14</sup>. Il principio di partecipazione democratica è molto complesso da applicare, soprattutto nei PVS, dove i processi partecipativi sono deboli e le popolazioni rurali sono difficili da raggiungere e mancano di informazione adeguata e di potere sociale per influenzare le decisioni. Il rischio di una loro esclusione dal dibattito e dai processi decisionali è pertanto molto elevato. La necessità di una corretta comunicazione della informazione relativa agli OGM è comunque un essenziale prerequisito per la pratica di questo diritto. I quadri legislativi di biosicurezza di molti paesi prevedono processi più o meno efficaci di consultazione del pubblico in generale e delle comunità direttamente interessate.

Bisogna considerare infine che l'uso degli OGM, a differenza di altre tecnologie, richiede l'istituzione di un sistema nazionale di biosicurezza, come sopra ricordato. Non si può quindi trascurare di considerare il costo sociale ed economico che la creazione del quadro nazionale di biosicurezza comporta.

#### *Rischi per la salute umana*

I rischi per la salute umana ricadono quasi esclusivamente tra i problemi connessi con la sicurezza degli alimenti. Gli OGM e i prodotti derivati da OGM, infatti, se usati come alimenti, pongono il rischio potenziale di risultare tossici o allergenici per l'uomo o per gli animali. Il trasferimento di geni può infatti causare l'alterazione dei sistemi biochimici dei microrganismi, delle piante o degli animali trasformati, e quindi la produzione di

12 FAO (2001) Genetically modified organisms, consumers, food safety and the environment. FAO Ethics Series no. 2, FAO, Roma (<http://www.fao.org/DOCREP/003/X9602E/X9602E00.HTM>).

13 Ruane, J., A. Sonnino (2006) Results from the FAO Biotechnology Forum: Background and dialogue on selected issues. FAO Research and Technology Paper No. 11, FAO, Roma (<http://www.fao.org/docrep/009/a0744e/a0744e00.htm>).

14 Aarhus Convention - Convention on Access to Information, Public Participation in Decision-making and Access to Justice in Environmental Matters (<http://www.unece.org/env/pp/gmo.htm>).



nuovi composti bioattivi, o la variazione della concentrazione abituale delle sostanze normalmente presenti. Gli OGM ed i loro prodotti debbono pertanto essere attentamente sperimentati per assicurare che gli alimenti derivati non contengano nuove proteine o nuovi metaboliti e non abbiano subito variazioni nella loro composizione come risultato della trasformazione genetica. A questo fine esistono protocolli accettati a livello internazionale per la realizzazione di prove tossicologiche, *screening* serologici, prove di stabilità e digestibilità delle proteine e della loro omologia con gli allergeni conosciuti. I nuovi metaboliti eventualmente presenti negli OGM sono valutati per genotossicità, tossicità subcronica e cronica, carcinogenesi e teratogenesi.

Alcuni geni marcatori, codificanti per resistenze ad alcuni antibiotici, sono utilizzati per selezionare gli individui effettivamente trasformati in esperimenti di ingegneria genetica. Gli OGM ottenuti per mezzo di questo processo sono pertanto portatori, oltre che dei geni di interesse, che conferiscono il o i caratteri desiderati, anche di resistenze agli antibiotici. Le resistenze agli antibiotici possono essere trasferite tra batteri per via orizzontale. Si è pertanto sollevato il timore che i geni di resistenza agli antibiotici possano essere trasmessi dagli alimenti ingeriti ai batteri presenti nell'apparato digerente, andando a perturbare l'equilibrio della flora intestinale. Anche se sembra che questo evento si possa in realtà difficilmente avverare, l'uso di OGM portatori di resistenze ad antibiotici è stato vietato da alcuni paesi. Esistono in ogni caso ben collaudate strategie alternative di selezione degli OGM in esperimenti di trasformazione genetica.

#### *Rischi per l'ambiente*

La tabella 2 riassume e schematizza i rischi per l'ambiente posti dalla utilizza-

zione degli OGM nella produzione agricola, che possono derivare sia da effetti diretti esercitati dagli OGM stessi o dai prodotti da essi derivati, che da effetti indiretti. Alcuni possibili effetti diretti sono relativi alla evenienza che il carattere conferito dal transgene apporti un vantaggio competitivo in particolari ambienti. In questo caso eventuali piante transgeniche sfuggite alla coltivazione potrebbero moltiplicarsi rapidamente nei terreni circostanti i campi coltivati e sostituire le popolazioni naturali che vi crescono, disturbando l'equilibrio dell'ecosistema. Un simile processo potrebbe accadere anche se avvenissero incroci spontanei tra gli OGM e le popolazioni naturali che crescono nelle vicinanze dei campi coltivati: gli ibridi risultanti, se dotati di un vantaggio competitivo, potrebbero diventare invasivi e disturbare gli ecosistemi. Nel caso che gli OGM sfuggiti alla coltura e cresciuti spontaneamente o gli ibridi tra OGM e popolazioni locali invadessero i campi coltivati, il rischio consisterebbe nella possibilità che questi nuovi tipi si convertano in infestanti aggressivi e difficilmente controllabili, con conseguente danno economico per gli agricoltori.

Alcuni OGM sono trasformati per la produzione di una o più sostanze che non sono prodotte dai corrispondenti organismi non trasformati. Se la sostanza prodotta persiste nel terreno e va ad interferire con le sue caratteristiche chimiche, fisiche o biologiche, si possono verificare effetti indesiderati sugli ecosistemi. Questi effetti inattesi possono essere diffusi nel territorio se il prodotto in questione è solubile e viene dilavato dall'acqua fino a contaminare la falda acquifera. Se la sostanza prodotta dagli OGM ha effetti tossici non solo sugli organismi contro i quali offre protezione, ma anche su organismi non obiettivo,



**Tabella 2 - Rischi per l'ambiente posti dalla utilizzazione degli OGM nella produzione agricola**

Effetti Diretti				Effetti indiretti			
Rischi ambientali degli OGM				Rischi ambientali degli OGM			
Invasività degli OGM negli ecosistemi	Flusso genico	Prodotti dei transgeni	Effetti su organismi non obiettivo	Effetti sugli organismi obiettivo	Sviluppo di resistenze	Effetti sulle pratiche agricole e sui sistemi di coltivazione	
Sopravvivenza fuori delle area di coltura	Trasferimento di polline a specie selvatiche	Persistenza, degradazione e diffusione del prodotto	Assunzione diretta o indiretta di prodotti di transgeni	Sviluppo di resistenze in organismi obiettivo	Sviluppo di resistenze in organismi obiettivo	Selezione di piante infestanti ad erbicidi	Cambiamenti nelle rotazioni o sulle superfici coltivate
Riproduzione spontanea	Formazione di ibridi	↑ Accumulazione nel suolo	↑ Effetti sugli organismi		Perdita di efficacia dei prodotti transgenici	Riduzione di efficacia degli erbicidi	Cambiamenti chimico-fisici e biologici del suolo
Popolazioni (specie coltivate o ibridi) con vantaggio evolutivo in determinati ambienti rispetto le popolazioni naturali		↑ Dilavamento e percolazione	↑ Effetti sulla dinamica delle popolazioni	↑ Effetti sulla dinamica delle popolazioni	Necessità di cambiamenti nelle strategie di difesa delle colture		Decadimento della qualità del suolo
Diffusione e persistenza delle popolazioni		Contaminazione della falda acquifera	↑ Effetti sugli ecosistemi		Effetti sulla biodiversità		
Fuori dalle aree coltivate (sostituzione di popolazioni per infestanti naturali)	Nelle aree coltivate (sostituzione per infestanti)	↑			Danno economico	Danno ambientale	
Danno ambientale	Danno economico	Danno ambientale	Danno ambientale	Danno ambientale			

Fonte: elaborazione Sanvido O., M. Stark, J. Romeis and F. Bigler (2006) Ecological impact of genetically modified crops – experiences from ten years of experimental field research and commercial cultivation. ART Schiftenreihe 1, Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Zurich, Switzerland



essa può esercitare su di loro effetti per assunzione diretta o indiretta e causare pertanto dei cambiamenti delle dinamiche di popolazione e, in definitiva, una perturbazione degli ecosistemi.

La pressione selettiva esercitata dall'uso di OGM resistenti ad organismi nocivi può indurre nelle popolazioni degli organismi obiettivo l'insorgere di mutazioni per insensibilità al meccanismo di resistenza. Dato che il danno provocato da patogeni, parassiti o infestanti più aggressivi è più economico che ambientale, questa evenienza è stata già discussa nel capitolo relativo ai rischi per gli agricoltori.

L'uso di OGM può inoltre comportare o causare delle modificazioni nelle pratiche agricole o sui sistemi di coltivazione e di allevamento, con conseguenti possibili effetti sull'agroecosistema. Molti di questi effetti sono positivi, come per esempio la pratica di lavorazione ridotta (*minimum tillage*) o di semina diretta (*sod seeding*), spesso associate alla coltivazione di soia tollerante agli erbicidi, che permette una riduzione dell'erosione del suolo, un maggiore sequestro di anidride carbonica atmosferica e uno sviluppo più equilibrato della flora e della fauna telluriche.

Un eccesso di competitività agronomica degli OGM, in termini di convenienza tecnica o economica, può comportare che il produttore agricolo concentri le proprie produzioni agricole su uno o pochi OGM. Per esempio, l'adozione di soia tollerante al glifosato e la contemporanea mancanza di alternative colturali valide hanno causato in alcune zone del mondo l'espansione eccessiva delle superfici coltivate a soia e la riduzione delle rotazioni agrarie, arrivando in qualche caso alla sostituzione di sistemi agricoli complessi con monoculture, con le conseguenti ripercussioni ambientali.

## Conclusioni

La biotecnologia in generale e l'ingegneria genetica in particolare possono in alcuni casi offrire un significativo contributo alla soluzione dei molti problemi che limitano la produzione agricola nei PVS. I programmi nazionali debbono assicurare che tutti i settori della società beneficino dei potenziali vantaggi offerti dalla innovazione biotecnologica, compresi gli strati più poveri delle popolazioni rurali, specialmente quelli che vivono in zone marginali. I programmi nazionali debbono altresì assicurare che siano adottate tutte le misure necessarie per garantire la sicurezza per l'ambiente e per la salute umana nell'adozione delle nuove tecnologie, considerando anche le relative implicazioni socio-economiche.

Un enorme contributo allo sviluppo delle aree più svantaggiate dei PVS viene offerto e ancora di più potrebbe venire offerto da biotecnologie non transgeniche. Si possono citare come esempi il vaccino contro la peste bovina, che ha portato all'eradicazione di questa malattia da molti paesi dell'Africa sudorientale, la micropropagazione della banana, della patata e della patata dolce, che ha permesso a molti agricoltori di tutte le aree geografiche di limitare la diffusione delle virosi e di migliorare le loro produzioni, e le nuove varietà di riso resistenti alle fitopatie ottenute mediante l'uso di marcatori molecolari in Asia meridionale. Le controversie che hanno accompagnato l'adozione degli OGM nella pratica agricola dei PVS hanno ingiustamente gettato una lunga ombra su questi e su altri successi delle biotecnologie e sulle loro potenzialità. I programmi di ingegneria genetica hanno un costo abbastanza elevato, in quanto richiedono attrezzature relativamente sofisticate e personale scientifico e tec-



nico con un avanzato grado di addestramento, e necessitano quindi di ingenti investimenti. È pertanto necessario che le nuove tecnologie affianchino e complementino le tecnologie convenzionali e siano usate solo quando offrano un chiaro vantaggio comparativo rispetto ad opzioni meno avanzate ma anche meno costose e che i programmi di ricerca rispondano a ben definiti obiettivi di interesse per lo sviluppo agricolo nazionale. Gli attuali investimenti nella ricerca biotecnologica tendono ad essere concentrati nel settore privato e sono pertanto orientati verso l'agricoltura dei paesi ad alto reddito dove esiste potere d'acquisto per i suoi prodotti. Gli investimenti sono inoltre diretti verso la soluzione di problemi abbastanza diffusi da creare un mercato sufficientemente vasto per giustificare gli investimenti finanziari necessari. Purtroppo gli OGM che sono stati sviluppati fino ad oggi e che saranno sviluppati nel medio periodo, soddisfano le esigenze di molti agricoltori sufficientemente ricchi da potersi permettere l'innovazione tecnologica proposta, mentre rimangono esclusi i problemi localizzati, quelli a carico di piccoli agricoltori senza risorse e quelli tipici delle aree più povere. Infatti, gli sforzi del settore pubblico di produrre OGM che possano contribuire al miglioramento della sicurezza alimentare e alla riduzione della povertà nelle aree più svantaggiate continuano a produrre risultati modesti e limitati, a causa di scarsità di investimenti, debolezza delle istituzioni, mancanza di infrastrutture adeguate e fragilità del quadro normativo. L'aumento degli investimenti pubblici e la creazione di collaborazioni tra il settore pubblico e quello privato potrebbero alleviare questi problemi.

Il problema della concentrazione degli investimenti su programmi di interesse per l'agricoltura nei paesi ad alto reddito è ulteriormente esacerbato dal costo del processo autorizzativo che deve essere sostenuto da compagnie private o da istituti pubblici di ricerca che intendano rilasciare un OGM. Questo costo è molto variabile in ragione del paese che deve autorizzare il rilascio dell'OGM, della natura dell'OGM medesimo (coltura alimentare o non alimentare, tipo di trasformazione genetica usata ecc.) e di altri fattori, ma si stima che vari tra i 6 e i 15 milioni di dollari<sup>15</sup>, che equivalgono almeno a 2-5 volte l'investimento in ricerca necessario per sviluppare l'OGM. Questo costo molto alto dei processi autorizzativi, oltre ad aumentare di molto l'investimento necessario per ottenere e portare sul mercato un prodotto transgenico, può operare come barriera selettiva e favorire la grande industria e disincentivare il settore pubblico o la piccola impresa privata. Questa barriera sta rendendo più difficile o ritardando l'adozione di OGM ottenuti dal settore pubblico in alcuni PVS, come per esempio il mais resistente al mal del Rio Cuarto, ottenuto in Argentina, quello resistente al virus della striatura delle foglie, sviluppato in Sudafrica, e il cotone resistente al coleottero parassita autonomo, risultato conseguito da un'università brasiliana. L'alto costo del processo autorizzativo per gli OGM deve essere ridotto certo non abbassando i livelli di sicurezza garantiti, ma attraverso una più attiva collaborazione internazionale, l'istituzione di associazioni dinamiche tra settore pubblico e privato e una stringente razionalizzazione dei programmi pubblici di ricerca e sviluppo. Va anche nota-

<sup>15</sup> Fonte: Pehu, E. and Ragasa C. (2007) Agricultural Biotechnology: Transgenics in Agriculture and their Implications for Developing Countries. Background Paper for the World Development Report 2008, Banca Mondiale, Washington (<http://go.worldbank.org/R1GDGYU5E0>).



to che i prodotti delle altre biotecnologie, per esempio le nuove varietà di piante coltivate o le razze migliorate di animali domestici ottenuti per mezzo della selezione assistita da marcatori molecolari, non sono sottoposte a costosi e lunghi processi autorizzativi<sup>16</sup>. Un effetto degli alti costi dei processi autorizzativi è quindi anche quello di rendere più competitivi approcci alternativi all'ingegneria genetica.

L'adozione di piante, animali e microrganismi geneticamente modificati nei sistemi produttivi agricoli nei PVS dipende però essenzialmente dall'esistenza di sistemi nazionali di biosicurezza forti, trasparenti, efficienti, in grado di valutare preventivamente e controllare lo sviluppo, la sperimentazione, la liberazione nell'ambiente e l'utilizzazione degli OGM. La valutazione dei rischi deve essere eseguita caso per caso, considerando ogni OGM in ogni contesto specifico. Le agenzie internazionali di assistenza tecnica hanno investito più di 135 milioni di dollari negli ultimi 15 anni<sup>17</sup> in programmi di rafforzamento dei sistemi nazionali di biosicurezza, ma nonostante le capacità sono tuttora molto limitate in molti PVS e ciò sta certamente ritardando l'adozione e la sperimentazione di piante, animali e microrganismi transgenici. Deboli capacità nazionali di biosicurezza favoriscono, tra l'altro, la diffusione fra gli agricoltori di seme transgenico non autorizzato, come è stato ed è tuttora il caso in molti PVS. Questa diffusione, se da una parte testimonia l'interesse dei produttori agricoli ad adottare innovazioni tecnologiche, dall'altra è foriera di gravi rischi, in quanto non sottoposta ad alcun control-

lo, ed espone gli agricoltori a possibili contraffazioni e frodi.

In conclusione, barriere politiche, normative, economiche, finanziarie e sociali hanno finora ostacolato e, nella maggior parte dei casi, impedito di mettere l'ingegneria genetica e i suoi prodotti al servizio dei piccoli contadini dei paesi più poveri, per combattere la fame e la povertà e promuovere lo sviluppo delle aree rurali. È pertanto necessario un rinnovato sforzo a livello internazionale per superare queste barriere e non perdere un'importante opportunità.



\**Andrea Sonnino*, lavora presso la Research and Extension Unit della FAO di Roma, dove ricopre l'incarico di Senior Agricultural Research Officer, ed è responsabile delle attività nel campo della creazione e del rafforzamento di capacità nazionali per la ricerca e l'applicazione delle biotecnologie agricole e per la biosicurezza. È inoltre Segretario del FAO Working Group on Biotechnology, co-Presidente del FAO Working Group on Biosafety e Presidente della rete dell'ONU sulle biotecnologie UN-Biotech, oltre a essere membro di numerosi comitati internazionali.

16 Dargie, J. (2007). Marker-assisted selection: policy considerations and options for developing countries. Capitolo 22 in E.P. Guimarães, J. Ruane, B.D. Scherf, A. Sonnino and J.D. Dargie (editors) Marker-assisted selection: Current status and future perspectives in crops, livestock, forestry and fish.

<http://www.fao.org/docrep/010/a1120e/a1120e00.htm>

17 Fonte: UNU-IAS.

## European SET Plan

### La tecnologia al centro delle politiche energetico-ambientali dell'Unione

Giorgio Simbolotti

ENEA  
Ufficio di Presidenza

*Con l'adozione dello Strategic Energy Technology Plan la Commissione Europea punta decisamente sull'innovazione tecnologica per ridurre le emissioni di gas serra e garantire la sicurezza degli approvvigionamenti energetici nell'Unione Europea*



Sfogliando un testo di energetica degli anni 70 potremmo trovare, tra le prospettive commerciali "del 2000", tutte le tecnologie cui oggi ancora affidiamo la speranza di uscire, nei prossimi due-tre decenni, dal guado epocale dei cambiamenti climatici: dalle biomasse al solare, dalle *fuel cells* all'idrogeno, dai reattori autofertilizzanti alla fusione, passando naturalmente per l'efficienza energetica delle tecnologie di uso finale dell'energia. Fanno eccezione l'eolico, che oggi è divenuto una realtà commerciale, e il sequestro della CO<sub>2</sub>, che non era contemplato nelle prospettive dell'epoca.

Naturalmente, nelle ultime decadi, le tecnologie energetiche non sono rimaste immutate. Produzione e uso finale dell'energia sono oggi incomparabilmente più efficienti e puliti. Tuttavia, come negli anni 70, la maggior parte dell'energia proviene ancora dalle fonti fossili e viene resa disponibile attraverso dispositivi basati ancora sui cicli termodinamici. I sistemi di conversione diretta (fotovoltaico, fuel cells) hanno ancora rilevanza

## The EU's SET Plan

### Technology at the centre of the Union's energy and environment policies

*In adopting the Strategic Energy Technology Plan, the European Commission is counting on new technologies to reduce greenhouse-gas emissions and guarantee the security of energy supply in the EU*



e competitività commerciale marginali ed altri sistemi innovativi di produzione dell'energia (fotolisi) e l'enorme potenziale di innovazione legato alla tecnologia dei materiali sono ancora in fase embrionale.

Se è vero inoltre che negli ultimi decenni emissioni ed inquinanti per unità di energia consumata sono stati notevolmente ridotti, è anche vero che la potenza media dei dispositivi di consumo (veicoli, *appliances* ecc.), e naturalmente il loro numero, si sono notevolmente accresciuti.

Nello stesso arco di tempo, altri settori come informatica, telecomunicazioni, medicina, biotecnologie, sono stati oggetto di vere rivoluzioni tecnologiche e industriali che hanno mutato radicalmente le nostre abitudini. Comuniciamo in modo radicalmente diverso rispetto agli anni 70 ma viaggiamo sullo stesso tipo di veicoli anche se più efficienti e confortevoli.

## Obiettivi e contenuti del SET Plan

Con lo *Strategic Energy Technology Plan* (SET Plan – Nov. 2007, [http://ec.europa.eu/energy/res/setplan/communication\\_2007\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/res/setplan/communication_2007_en.htm)) la Commissione Europea riporta l'innovazione tecnologica al centro delle strategie per ridurre le emissioni di gas serra e per garantire la sicurezza degli approvvigionamenti energetici. Il SET Plan stigmatizza la stagnazione degli investimenti in R&S nei paesi membri ed intende stimolare nuovo interesse ed iniziative di sviluppo tecnologico nel settore energetico-ambientale.

Dopo la liberalizzazione dei mercati energetici e la creazione di importanti meccanismi finanziari (*emission trading*) per attribuire valore economico alla riduzione delle emissioni, l'attenzione torna sullo sviluppo tecnologico, in parti-

colare sulle tecnologie che consentono di ridurre o abbattere le emissioni di gas serra (*low-carbon technologies*). L'obiettivo (20/20/20) è quello di pilotare, attraverso la diffusione di tali tecnologie, una rivoluzione nella domanda di servizi energetici per conseguire, entro il 2020, una riduzione delle emissioni di gas serra del 20% rispetto al 1990, una penetrazione delle fonti rinnovabili nel mix energetico del 20% e, attraverso l'aumento dell'efficienza energetica, una riduzione dei consumi del 20% rispetto allo scenario tendenziale al 2020, creando nel contempo opportunità di sviluppo economico per l'Europa.

È ormai ampiamente condivisa l'opinione che, entro il 2050, le emissioni di gas serra debbano essere ridotte del 60%-80% rispetto al tendenziale e che tale riduzione sia possibile soltanto introducendo nuove tecnologie energetiche. Altrettanto diffusa è la consapevolezza della necessità di interventi immediati e del fatto che le azioni intraprese nei prossimi 10-15 anni avranno un impatto determinante per il conseguimento degli obiettivi di mitigazione di lungo termine. In base al Rapporto Stern, il costo di una *azione* tempestiva sarebbe dell'ordine del 1% del prodotto interno lordo globale su base annuale, di gran lunga inferiore ai danni derivanti dall'*inazione*, valutati nell'ordine del 5%, o da azioni ritardate nel tempo.

L'Unione Europea intende quindi favorire lo sviluppo e l'introduzione di *low-carbon technologies* (LCT), in particolare di quelle che, non offrendo benefici immediati in termini economici o di servizi energetici per consumatori e fornitori, non sono oggetto di spontanea attenzione da parte del mercato.

Con una articolazione in vari documenti, il SET Plan individua le tecnologie di maggiore interesse e delinea una valutazione dei costi/benefici ad esse asso-



ciati; offre un quadro del potenziale di R&S pubblico e privato nei Paesi membri, degli attuali investimenti e di quelli che invece sarebbero necessari; e fornisce una valutazione di alcune opzioni di politiche Comunitarie volte al rilancio delle attività di R&S.

Il SET Plan offre quindi ai Paesi membri elementi e strategie per ricalibrare le politiche nazionali di sviluppo delle LCT e per individuare delle *traiettorie tecnologiche* per il conseguimento degli obiettivi comunitari. A tal fine, risultano di grande interesse anche altri documenti recentemente pubblicati da organizzazioni e agenzie internazionali come i rapporti *dell'Intergovernmental Panel on Climate Change*, il *World Energy Outlook 2007* e il rapporto *Energy Technology Perspectives 2008* (di prossima pubblicazione) da parte dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA), che pure offrono - da un'ottica internazionale - un quadro dettagliato del ruolo delle tecnologie nel futuro assetto dei mercati energetici e delle prospettive di mercato delle tecnologie emergenti.

È compito di ogni paese riconsiderare e riportare le indicazioni contenute in tali documenti nell'ambito della realtà nazionale, per adottare strategie e politiche volte ad ottemperare agli impegni internazionali, valorizzando le risorse e le vocazioni industriali locali.

### Azioni e Tecnologie per l'Europa

Nel documento di sintesi il SET Plan individua, per i prossimi 10 anni, due serie di azioni prioritarie con diverso orizzonte temporale. La prima serie identifica azioni con orizzonte temporale al 2020, quali:

- favorire la penetrazione di tecnologie efficienti lato domanda (usi finali);

- rendere commerciali le tecnologie di cattura e sequestro della CO<sub>2</sub> (CCS);
- raddoppiare la capacità eolica con particolare attenzione per le applicazioni *offshore*;
- dimostrare la fattibilità commerciale su larga scala del fotovoltaico e del solare a concentrazione;
- disporre di reti intelligenti per ospitare quantità crescenti di fonti rinnovabili e generazione distribuita;
- sfruttare il potenziale dell'energia nucleare individuando soluzioni di lungo termine per le scorie;
- rendere competitiva e sostenibile la produzione di biocombustibili di seconda generazione.

La seconda serie di azioni è volta a raggiungere gli obiettivi al 2050 e include:

- portare sul mercato le nuove generazioni di tecnologie rinnovabili;
- conseguire progressi sostanziali nelle tecnologie di *energy storage*;
- sviluppare tecnologie e condizioni per l'uso commerciale di idrogeno e veicoli a *fuel cells*;
- preparare progetti dimostrativi per i reattori nucleari di quarta generazione (Gen-IV);
- completare la costruzione del reattore ITER per procedere alla dimostrazione del processo di fusione;
- elaborare strategie per la transizione verso reti energetiche integrate a livello europeo;
- conseguire progressi sostanziali nel settore dei materiali, nano-tecnologie, ICT, biotecnologie.

Per porre in essere tali azioni la Commissione propone sostanzialmente quattro iniziative:

*Joint Strategic Planning* - La creazione (nel 2008) di uno *Steering Group* per



l'attuazione del SET Plan e l'armonizzazione delle iniziative nazionali; l'organizzazione di uno *European Energy Technology Summit* (nel 2009) tra operatori, consumatori, investitori e *policy makers*; la creazione di uno *European Energy Technology Information System* che fornisca informazioni tecnico-economiche qualificate sulle tecnologie energetiche (*Technology map*) e sulle risorse destinate a R&S.

**Effective Implementation** - Una serie di iniziative, che vanno ad aggiungersi a quelle già in essere, per valorizzare il potenziale della ricerca e dell'industria europea e per ripartire i rischi di investimento in R&S. Tra queste sono incluse 6 nuove iniziative con largo coinvolgimento dell'industria previste per il 2008 nei settori eolico (in particolare, *offshore*), solare (fotovoltaico e solare termoelettrico a concentrazione), biocombustibili e bioraffinerie, cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>, reti elettriche intelligenti, ed impianti nucleari di nuova generazione (Gen-IV).

**Resources** - Una struttura di coordinamento e ottimizzazione degli investimenti volta anche a rendere disponibili maggiori risorse per R&S, attraverso la partecipazione di organismi europei quali la European Investment Bank. La redazione di una *Communication on Financing of Low-Carbon Technologies* da parte della Commissione (prevista per la fine del 2008) per valutare il potenziale e la necessità di risorse ed investimenti privati. Un programma di *Education & Training* per accrescere la disponibilità di competenze di qualità a livello europeo e nazionale.

**International Cooperation** - Una serie di iniziative volte a migliorare la cooperazione non solo nella ricerca ma anche

nella formulazione di standard internazionali, nella commercializzazione di LCT, nella promozione della *public acceptance*, sia nei paesi membri che in paesi in via di sviluppo che perseguano politiche sostenibili e possano offrire opportunità per l'industria europea.

Nei documenti di dettaglio il SET Plan offre inoltre:

Una prima analisi quantitativa delle tecnologie energetiche emergenti (*Technology Map*) basata sui modelli in uso presso la Commissione. L'analisi include i potenziali di mercato delle singole tecnologie, il loro impatto sul costo dei servizi e dei vettori energetici, sulla riduzione delle emissioni e della domanda di fossili, valutati attraverso alcuni indicatori appositamente definiti.

Un quadro del potenziale di R&S pubblico e privato nei paesi membri (*Capacity Map*) che include strutture, finanziamenti, politiche, opportunità di business e anche eventuali debolezze strutturali e organizzative.

La valutazione di alcune opzioni strategiche per il rilancio delle attività di R&S (*Impact Assessment*), con la scelta di una opzione di riferimento.

## Elementi di discussione

Il SET Plan, come altri documenti della Commissione, svolge un ruolo di rilievo sul piano strategico e politico ma si configura come un passo *intermedio* verso assetti organizzativi e funzionali più definitivi.

Sul piano delle tecnologie, gran parte dell'attenzione è giustamente concentrata sullo stato attuale della ricerca nei paesi dell'Unione e sulle politiche di incentivazione e rilancio delle attività di R&S. Il SET Plan, tuttavia, sembra voler



anche porre le basi per il superamento di alcuni problemi che puntualmente si pongono quando obiettivi di riduzione delle emissioni e di diversificazione energetica a livello internazionale devono essere tradotti, attraverso analisi, valutazioni e negoziati, in obiettivi nazionali equamente ripartiti e vincolanti, in politiche e misure quantitative.

Se le tecnologie, in particolare quelle emergenti, costituiscono un elemento importante per il raggiungimento degli obiettivi al 2020 e al 2050, è evidente che le ipotesi sulle loro traiettorie di sviluppo, la penetrazione nel mercato, le future prestazioni e le dinamiche dei costi e dei prezzi nel tempo assumono un ruolo determinante per i risultati delle valutazioni e delle analisi di scenario: basti pensare ad esempio alla valutazione delle risorse necessarie per porre in essere le politiche di incentivazione.

In una situazione ideale, modelli e dati di base dovrebbero essere trasparenti e condivisi. Nella realtà, anche le numerose pubblicazioni disponibili in ambito internazionale differiscono non solo nei modelli ma, anche utilizzando gli stessi modelli, assumono basi di dati diverse la cui trasparenza e documentazione è quantomeno frammentaria.

L'esigenza di qualificare e documentare gli strumenti di analisi e i dati utilizzati diventa una necessità nelle fasi negoziali. L'obiettivo non è quello di pervenire a ipotesi e valutazioni uniformi e applicabili per tutti ma quello di documentare le differenze. Anche se il *mercato unico* costituisce un potente strumento di omogeneizzazione a livello europeo, il concetto di costo *internazionale* di una tecnologia genera ovviamente scetticismo presso chiunque abbia qualche esperienza nel settore. Ad esempio, il costo del lavoro, i tempi di costruzione di impianti e dispositivi, spesso condizionati dalle procedure autorizzative, ed

altri fattori locali hanno un impatto significativo sui costi finali di produzione anche quando le tecnologie sono fornite da operatori multinazionali e, in modo particolare, nel caso di tecnologie con preponderante costo di capitale come le tecnologie rinnovabili e nucleari. In alcuni casi si tratta di differenze regionali oggettive spendibili anche in sede negoziale. In altri casi, le differenze attengono all'efficienza generale del sistema paese e, pur non essendo spendibili in ambito negoziale, vanno opportunamente ponderate nelle analisi pre-negoziali che ogni paese membro deve svolgere al proprio interno.

Il problema diventa anche più complesso quando si tratta di valutare (o ipotizzare) costi e prestazioni futuri delle tecnologie al fine di quantificare scenari di abbattimento al 2020 o al 2050, facendo uso di curve di apprendimento tecnologico (*technology learning*).

I tentativi effettuati in passato di pervenire ad una qualificazione dei dati e dei modelli utilizzati nelle analisi di scenario, attraverso *benchmark* internazionali e data-base tecnologici (Ikarus, CO<sub>2</sub>DB ecc.), non hanno avuto finora la dovuta risonanza ed il giusto seguito a causa della complessità del problema e, probabilmente, della mancanza di interessi economici come quelli che invece si manifestano nel momento in cui si passa da obiettivi assunti su base volontaria ad obiettivi vincolanti, il cui mancato raggiungimento si traduce in penalizzazioni di carattere economico. Un nuovo progetto di qualificazione delle basi di dati è attualmente in essere presso il programma IEA-ETSAP (Energy Technology System Analysis Project) che utilizza e diffonde, da circa 20 anni, i modelli della famiglia Markal-Times, utilizzati ormai in oltre 50 paesi per analisi di scenario nel settore energetico-ambientale. La stessa Agenzia



Internazionale dell'Energia persegue analoghi obiettivi attraverso le pubblicazioni della serie *Energy Technology Perspectives*, *Energy Technology Essentials* (<http://www.iea.Textbase/techno/Essentials.htm>).

In questo contesto, il SET Plan propone la creazione di un *European Energy Technology Information System* ed introduce, con il documento *Technology Map*, un tentativo di pervenire ad una caratterizzazione sistematica delle principali tecnologie energetiche. Si tratta evidentemente di un primo approccio che copre soltanto le principali tecnologie di offerta con un livello di disaggregazione non ancora sufficiente, e che per le tecnologie lato domanda - ben più importanti ai fini del raggiungimento di obiettivi di abbattimento nel breve termine - rimanda a documenti e ad iniziative della Commissione già in essere (Energy Efficiency Action Plan; Freight Logistics Action Plan ecc.) o a successivi aggiornamenti dello stesso SET Plan. I dati e le valutazioni espresse nel documento sono dedotti da un serie di *hearings* e *workshop* organizzati dalla Commissione nel 2007. Il documento fornisce tra l'altro una quantificazione del potenziale impatto delle singole tecnologie sulla riduzione delle emissioni e del consumo di combustibili fossili e sul costo dei vettori energetici.

Tuttavia, per esplicita ammissione degli autori, tali valutazioni potrebbero dar luogo ad indicazioni non corrette in quanto esse fanno riferimento a quello che viene definito come il massimo potenziale di penetrazione di ogni singola tecnologia nel mercato energetico e non ad un livello di penetrazione valutato attraverso un modello di equilibrio in cui le varie opzioni tecnologiche competono per soddisfare una domanda di servizi energetici. Analizzando in detta-

glio il documento si possono trovare valutazioni di costo, tempi di ammortamento, valutazioni di riserve strategiche e numerosi altri aspetti che sono tuttora oggetto di discussione anche in ambito internazionale. Lungi dall'essere un limite del documento, questi aspetti dimostrano la necessità di pervenire a delle valutazioni condivise per i dati di base che consentano di qualificare e validare i risultati delle proiezioni energetiche e delle analisi di scenario. Tutto ciò dovrebbe essere evidentemente tra i contenuti del futuro *European Energy Technology Information System*.

Il SET Plan dovrebbe inoltre indicare una scala prioritaria delle azioni proposte per lo sviluppo delle varie opzioni tecnologiche e fornire delle valutazioni dei livelli di investimenti in R&S richiesti a livello Comunitario per ogni settore tecnologico. Una ulteriore importante indicazione da parte della Commissione sarebbe l'individuazione di quelle tecnologie e settori tecnologici che potrebbero riservare novità in grado di rivoluzionare la struttura stessa dell'attuale sistema energetico. Si tratta di approfondimenti e analisi che saranno probabilmente oggetto di successivi documenti da parte della Commissione, ma che ogni Paese membro deve necessariamente valutare anche in proprio. L'ENEA si prepara a dare il proprio contributo nel contesto nazionale.



[giorgio.simbolotti@sede.enea.it](mailto:giorgio.simbolotti@sede.enea.it)



## La Conferenza di Bali sui cambiamenti climatici

Maria Velardi,  
Natale Massimo Caminiti

ENEA  
Dipartimento Ambiente,  
Cambiamenti Globali e Sviluppo Sostenibile

*L'adesione alla roadmap di Stati Uniti, Cina e India, la definizione dei meccanismi per il trasferimento tecnologico e l'assistenza finanziaria ai paesi in via di sviluppo sono tra i principali risultati ottenuti alla conferenza di Bali, che guideranno i negoziati per un nuovo accordo multilaterale post Kyoto, da concludersi a Copenaghen nel dicembre 2009*



La Conferenza delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici, che si è svolta a Bali, in Indonesia, dal 3 al 15 dicembre 2007 con la partecipazione di 195 paesi, ha avviato il negoziato che si concluderà nel 2009 a Copenaghen con l'adozione di un nuovo Trattato che vada oltre l'attuale Protocollo di Kyoto. I due grandi nodi da sciogliere riguardavano la continuità e l'accelerazione del processo negoziale che si era deciso a Kyoto e la necessità di coinvolgere gli Stati Uniti e le grandi economie emergenti.

I lavori di Bali sono stati articolati in due sezioni fondamentali: la COP13, ovvero la tredicesima Conferenza delle Parti (organo decisionale della Convenzione Quadro Cambiamenti Climatici della Nazioni Unite - UNFCCC) e la CMP3, ovvero la terza Conferenza delle Parti che hanno ratificato il Protocollo di Kyoto.

La conferenza si è contraddistinta anche per la partecipazione dei ministri delle Finanze, su invito di quello indonesiano, segnale che si inizia a considerare

## The Bali Conference on climate change

*Acceptance of the Roadmap by the United States, China and India; the definition of technology-transfer, mechanisms and financial aid to the developing countries are among the most important outcomes of the Bali Conference.*

*The Roadmap will guide negotiations for a new, post Kyoto multilateral agreement, which are scheduled to wind up in Copenhagen in December 2009*



seriamente l'idea di coniugare lo sviluppo e la protezione dell'ambiente.

Il Summit si è aperto sotto i migliori auspici con l'annuncio della ratifica del Protocollo di Kyoto da parte del neo-eletto governo laburista dell'Australia. Le aspettative erano altissime e i negoziati sono stati segnati da fasi di grosse controversie, di scontri ed anche di stallo vero e proprio. A fronte di questo rischio di rottura del processo negoziale a livello internazionale, si può parlare però complessivamente di un bilancio positivo. I passi avanti hanno riguardato:

- l'adozione di una *roadmap*, ovvero di un piano d'azione (ved. in allegato il documento ufficiale), che scandisce il processo negoziale che si concluderà a Copenaghen nel dicembre 2009, con la definizione di nuovi impegni post-2012;
- l'adesione alla *roadmap* da parte degli Stati Uniti e dei paesi ad economia emergente, quali Cina e India;
- la definizione di meccanismi per attuare il trasferimento tecnologico, l'assistenza e il relativo impegno finanziario dei paesi sviluppati verso i paesi ad economia emergente ed in via di sviluppo.

Benché la natura giuridica e la portata dei passi avanti compiuti a Bali non sia ancora stata definita in maniera unanime ed esplicita, tra le decisioni più importanti adottate vi sono:

- il riconoscimento del IV Rapporto IPCC sui cambiamenti climatici<sup>1</sup> come lo studio scientifico più autorevole sulla scienza dei cambiamenti climatici;
- l'istituzione di un *Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention*, con lo sco-

po di avviare un processo di cooperazione di lungo periodo, al fine di adottare una decisione alla COP15/CMP5 a Copenaghen nel dicembre 2009. Il Working Group terminerà il proprio lavoro nel 2009 e terrà il primo incontro entro aprile 2008.

Gli altri elementi importanti del piano d'azione di Bali, ovvero i "pilastri", denominati "*building blocks*" su cui costruire l'accordo post-2012, riguardano le strategie di mitigazione, adattamento, sviluppo e trasferimento di tecnologie eco-compatibili, e relative questioni finanziarie.

#### Mitigazione

- I paesi in via di sviluppo, per la prima volta, si sono dichiarati disponibili ad includere azioni di mitigazione nel prossimo accordo. Non è ancora chiaro in cosa consistiranno questi piani d'azione e se la loro attuazione sarà subordinata a quella dei piani nei paesi industrializzati. In ogni caso siamo in presenza di un passo che va nella giusta direzione.

- Inizieranno studi sui metodi di dimostrazione di riduzione delle emissioni da deforestazione<sup>2</sup> e inizierà la messa a punto di politiche per incentivare la riduzione delle emissioni da deforestazione e degrado del suolo. Si tratta di una misura importante, soprattutto per quei paesi come il Brasile e il Congo, per i quali la deforestazione rappresenta circa un quinto delle emissioni di gas serra.

- Un piano di sviluppo degli studi su sequestro ed immagazzinamento della

<sup>1</sup> Anche se nelle decisioni finali questo riconoscimento non viene sufficientemente enfatizzato, nel senso che i 'numeri' relativi al taglio delle emissioni, cioè il 25-40% al 2020 da parte dei paesi industrializzati rispetto ai livelli del 90, non sono scritti nero su bianco. Il riferimento è inserito in una nota a fondo testo che indica tre pagine del rapporto IPCC dove sono riportati sia gli scenari dell'aumento dei gas serra e il relativo innalzamento della temperatura, sia gli stessi *range* di riduzione delle emissioni di gas serra.

<sup>2</sup> RED(D) - Reduce Emissions from Deforestation (and Degradation).

CO<sub>2</sub> (CCS<sup>3</sup>), anche al fine di includere i progetti CCS in formazioni geologiche come attività CDM. Per il 2008 sarà istituito un gruppo di lavoro per indagare gli aspetti tecnici, metodologici, legali e finanziari.

- Il raddoppio<sup>4</sup> della dimensione massima dei piccoli progetti di riforestazione effettuati nell'ambito dei CDM. Questo permetterà di ampliare l'estensione geografica dei CDM, favorendo in particolar modo quei paesi africani o piccoli Stati, senza una base economica e settore energetico forte.

- I paesi aderenti al Protocollo di Kyoto, inclusa la neo entrata Australia, si sono impegnati a ridurre le emissioni entro il 2020 di una quota variabile tra il 25 e il 40%, rispetto ai valori del 1990.

#### Adattamento

Le politiche di adattamento sono diventate più importanti. Le decisioni in merito prese a Bali, sottolineano l'importanza degli studi di valutazione della vulnerabilità ai cambiamenti climatici dei paesi poveri, la gestione del rischio climatico, la riduzione del rischio e il rafforzamento della resilienza ambientale attraverso la diversificazione dell'economia. Tra le decisioni più importanti:

- l'identificazione di un meccanismo di finanziamento per il fondo di adattamento, che genererà circa 200 milioni di euro nel quinquennio 2008-2012. Il fondo è stato istituito nell'ambito del GEF<sup>5</sup> attraverso un prelievo del 2% sui progetti CDM<sup>6</sup>. L'entità del fondo è insufficiente, ma è un inizio.

3 Carbon Capture and Storage.

4 Il nuovo limite è di 16 KtonCO<sub>2</sub>/anno.

5 Global Environment Facility.

6 Clean Development Mechanism.

7 Least Developed Countries Expert Group.

8 Least Developed Countries.

9 Expert Group on Technology Transfer.

- L'estensione del mandato del Gruppo di Esperti sui paesi meno sviluppati<sup>7</sup>, il quale supporta i LDC<sup>8</sup> nel valutare le loro necessità di adattamento ai cambiamenti climatici. Le parti chiedono di sviluppare un programma di lavoro, tenendo conto di quanto stabilito alla conferenza di Nairobi sugli impatti, la vulnerabilità e l'adattamento ai cambiamenti climatici.

#### Sviluppo e trasferimento di tecnologie eco-compatibili

Ulteriori passi avanti sono stati fatti sul fronte del trasferimento tecnologico ai paesi in via di sviluppo, sulla cooperazione nella ricerca e sviluppo di tecnologie a bassa intensità carbonica. In particolare:

- è stato chiesto al GEF, in consultazione con le istituzioni finanziarie internazionali e i rappresentanti del settore finanziario privato, di elaborare un programma strategico, al fine di aumentare il livello di investimenti per il trasferimento di tecnologie eco-compatibili. Attraverso questo programma si intende promuovere progetti dimostrativi e dare incentivi al settore privato per lo sviluppo e il trasferimento tecnologico.

- È stato chiesto all'EGTT<sup>9</sup> di valutare le lacune e le barriere all'uso e all'accesso delle risorse finanziarie per lo sviluppo e il trasferimento tecnologico, e di sviluppare una serie di indicatori di *performance* per monitorare l'andamento nello sviluppo, trasferimento e applicazione di tecnologie eco-compatibili.

#### Posizione dell'Europa

A livello internazionale l'Unione Europea ha assunto un ruolo *leader* nella lotta ai cambiamenti climatici ed è sicuramente l'area economica che si è impegnata maggiormente. L'UE si è dotata di strumenti e direttive nei settori delle fon-



ti rinnovabili, efficienza energetica, biocombustibili, trasporti ecc., atti alla riduzione dei gas serra; ha avviato processi di liberalizzazione nel settore elettrico e del gas, ed un mercato del carbonio attraverso la direttiva Emissions Trading. Con una decisione del Consiglio Europeo dell'8-9 marzo 2007, l'UE si è impegnata unilateralmente ad una riduzione delle emissioni del 20% entro il 2020. Lo scorso 23 gennaio la Commissione Europea ha presentato un pacchetto operativo di attuazione di questa strategia, con obiettivi specifici per i vari Stati membri.

L'impegno dell'Unione Europea a Bali è stato determinante per il raggiungimento degli obiettivi.

La posizione dell'UE prevedeva un accordo sul post Kyoto basato sull'obiettivo strategico di limitare l'aumento della temperatura media superficiale globale del pianeta al massimo di 2° rispetto ai livelli preindustriali. In questo senso l'UE ha proposto la sottoscrizione di un obiettivo di riduzione del 30% dei gas serra entro il 2020 rispetto al 1990, quale posizione negoziale, a condizione che altri paesi sviluppati si impegnino in analoghi obiettivi e che i paesi ad economia emergente si impegnino a contribuire in maniera adeguata sulla base delle loro responsabilità e capacità. In ogni caso, l'UE si è impegnata, unilateralmente e indipendentemente, a realizzare una riduzione dei gas serra del 20% al 2020 rispetto al 1990.

In questa prospettiva l'Unione Europea ha assunto una serie di impegni in materia energetica, quali: un obiettivo di risparmio dei consumi energetici del 20% rispetto allo scenario tendenzia-

le al 2020. Un obiettivo che prevede una quota vincolante di energie rinnovabili del 20% sul totale dei consumi energetici al 2020, comprensivo di una quota minima del 10% di utilizzo di biocarburanti sul totale dei consumi di benzina e gasolio per autotrazione, entro il 2020 per ogni Stato membro.

Inoltre, la posizione europea alla conferenza di Bali mirava:

1. a potenziare il mercato globale del carbonio;
2. ad un maggiore impegno in favore dell'adattamento ai cambiamenti climatici, rafforzando la cooperazione per aiutare i paesi più vulnerabili al fenomeno;
3. al coinvolgimento dei settori aereo e marittimo nella riduzione delle emissioni;
4. al rafforzamento della cooperazione per la ricerca, lo sviluppo e la diffusione delle tecnologie pulite.

L'Europa, guidata dalla delegazione portoghese, ha proposto con forza obiettivi vincolanti di riduzione delle emissioni e ha svolto un capillare ruolo diplomatico nei confronti dei paesi rivali (Stati Uniti in prima battuta, ma anche Canada, Giappone e Russia) per convincerli a sostenere ognuno la propria parte.

### Posizione dell'Italia

L'Italia era presente alla conferenza di Bali con una delegazione guidata dal ministro Pecoraro Scanio, e vi è arrivata reduce dall'approvazione della Delibera CIPE sulla riduzione dei gas serra<sup>10</sup> e dall'invio al segretariato UNFCCC della IV Comunicazione Nazionale sui cambiamenti climatici<sup>11</sup>. La IV Comu-

<sup>10</sup> Delibera CIPE "Revisione delle linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni di gas serra" del 11 dicembre 2007.

<sup>11</sup> Fourth National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change - Italy del 29 novembre 2007.



nicazione fornisce il quadro ufficiale più aggiornato sullo stato di attuazione del Protocollo di Kyoto in Italia.

Nel corso del suo intervento all'Assemblea plenaria dei ministri dell'Ambiente, il Ministro ha sottolineato la necessità di un pieno mandato per il 2012 e di un nuovo accordo per il periodo post Kyoto.

In particolare, l'Italia ha sostenuto la necessità che i paesi industrializzati assumano un ruolo trainante nel combattere il cambiamento climatico e che l'Unione Europea mantenga il suo ruolo di *leadership*. Ha sostenuto l'importanza dell'alleanza strategica tra i paesi industrializzati e i paesi in via di sviluppo basata sul principio di responsabilità comuni ma differenziate; ha quindi supportato l'esigenza di obiettivi di riduzione quantificati (25-40% entro il 2020 e 50-60% nel 2050) e ha messo l'accento sull'urgenza di adottare strategie di adattamento.

A fronte del ritardo italiano nel raggiungimento dell'obiettivo di Kyoto<sup>12</sup>, l'Italia ha sottolineato lo sforzo messo in atto con le ultime due leggi finanziarie e con una serie di strumenti normativi e di incentivazione per lo sviluppo delle fonti rinnovabili, l'efficienza energetica negli usi finali e negli edifici, la valorizzazione del potenziale nazionale di assorbimento del carbonio ed interventi nel settore dei trasporti.

### Andamento della Conferenza e conclusioni

Durante le negoziazioni sono state molte le questioni di difficile soluzione specie quelle legate alla coopera-

zione di lungo periodo. La decisione sulle azioni di mitigazione è stata il frutto di estenuanti riunioni tra i delegati dei vari paesi.

Non si riusciva a trovare un accordo sul coinvolgimento dei paesi in via di sviluppo sulle azioni di mitigazione e le negoziazioni sono state spesso sul punto di rottura. Gli interventi del segretario generale dell'ONU Ban Ki-moon e del presidente indonesiano hanno scongiurato la rottura e favorito il raggiungimento di un compromesso.

L'accordo complessivo è stato difficile fino alla fine, fino a quando le Parti, tra cui gli USA, hanno finalmente concordato sulla proposta indiana, supportata dal G-77/China<sup>13</sup>, volta ad assicurare che azioni di mitigazione da parte di paesi in via di sviluppo siano supportate da trasferimento tecnologico, finanziamenti e assistenza. È una proposta importante perché costituisce la premessa per la partecipazione dei paesi in via di sviluppo in un futuro accordo multilaterale.

In definitiva, si può affermare che la conferenza di Bali abbia prodotto un consenso insperato tra paesi con posizioni diverse sul problema dei cambiamenti climatici e segnato un percorso a tappe nell'ottica di un nuovo accordo multilaterale.

I risultati raggiunti alla conferenza sono sicuramente frutto delle maggiori conoscenze sulla scienza dei cambiamenti climatici e sulla maggiore consapevolezza della loro gravità, ma anche l'interesse montante dell'opinione pubblica, il Nobel per la pace all'IPCC e ad Al Gore, e la presenza massiccia dei media alla conferenza, hanno giocato un ruolo non secondario.

<sup>12</sup> I dati a consuntivo del 2005 mostrano un aumento delle emissioni del 12,1% rispetto al 1990, contro un obiettivo di riduzione del 6,5% da raggiungersi nel periodo medio 2008-2012 rispetto al 1990.

<sup>13</sup> Gruppo di più di 130 paesi in via di sviluppo (in origine erano 77) che, nell'ambito del negoziato sul cambiamento climatico, opera spesso come un insieme unitario.



Una caratteristica della conferenza di Bali, a detta di esperti che hanno seguito le conferenze ONU sin dalla loro prima edizione, è stato il cambiamento di alcune posizioni decise dai delegati, nel passaggio dagli accordi presi a porte chiuse alle sessioni plenarie, come è successo ad esempio nel caso del Canada e degli Stati Uniti, questi ultimi direttamente criticati in plenaria da stati come il Sudafrica o la Papua Nuova Guinea, che ha invitato la più grande potenza mondiale ad ab-

bandonare i lavori se non in grado di intraprendere un ruolo attivo sulle tematiche in discussione.

Alla fine gli Stati Uniti, unico grande emettitore dei paesi sviluppati a non avere ancora ratificato il Protocollo di Kyoto, ha accettato di partecipare al processo biennale per l'individuazione degli obiettivi futuri per i paesi sviluppati. È questa la portata storica della Conferenza di Bali. La trasparenza delle negoziazioni e la pressione esercitata dai media si è rivelata un fattore decisivo.

#### Allegato

Decision -/CP.13

#### Bali Roadmap

*La Conferenza delle Parti,*

*Decidendo* di intensificazione l'attuazione della Convenzione al fine di conseguire l'obiettivo finale in piena conformità con i suoi principi e impegni,

*Riaffermando* che lo sviluppo economico e sociale e lo sradicamento della povertà sono priorità globali,

*Rispondendo* alle conclusioni del Quarto Rapporto di Valutazione dell'Intergovernmental Panel on Climate Change secondo cui il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile, e che ritardi nella riduzione delle emissioni limiterebbero significativamente le opportunità di conseguire livelli di stabilizzazione ed aumenterebbe il rischio di peggiori impatti dei cambiamenti climatici,

*Riconoscendo* che saranno necessari profondi tagli delle emissioni globali per conseguire l'obiettivo ultimo della Convenzione ed enfatizzando l'urgenza di indirizzare il cambiamento climatico così come indicato nel Quarto Rapporto di Valutazione dell'Intergovernmental Panel on Climate Change,

*1. Decide* di avviare un processo globale al fine di consentire la completa, efficace e duratura attuazione della Convenzione attraverso un'azione di cooperazione di lungo periodo, ora, e fino ad oltre il 2012, al fine di raggiungere un accordo sui risultati e adottare una decisione nella quindicesima sessione, attraverso, *inter alia*:



a) una visione condivisa per un'azione cooperativa di lungo periodo, che includa un obiettivo globale di riduzione delle emissioni nel lungo periodo, al fine di raggiungere l'obiettivo ultimo della Convenzione, in conformità con le disposizioni e i principi della convenzione, in particolare il principio delle responsabilità comuni ma differenziate e rispettive capacità, e tenendo in considerazione le condizioni economiche e sociali ed altri fattori pertinenti;

b) rafforzare, a livello nazionale e internazionale, le azioni di mitigazione del cambiamento climatico, considerando, *inter alia*:

I. appropriate azioni e impegni di mitigazione nazionali misurabili e verificabili, inclusi limiti alle emissioni e obiettivi di riduzione, da parte di tutte le Parti costituite da paesi sviluppati garantendo nel contempo la comparabilità degli sforzi tra loro, tenendo conto delle differenze nelle loro politiche nazionali;

II. azioni di mitigazione nazionali appropriate per le Parti costituite da Paesi in via di sviluppo nel contesto di uno sviluppo sostenibile, supportato da tecnologie, finanziamenti e trasferimento di competenze, in modo misurabile, verificabile e riportabile;

III. politiche e incentivi su questioni relative alla riduzione delle emissioni da deforestazione e degrado delle foreste nei paesi in via di sviluppo; sul ruolo della conservazione, della gestione sostenibile delle foreste e valorizzazione degli stock di carbonio delle foreste nei paesi in via di sviluppo;

IV. approcci settoriali cooperativi e azioni specifiche settoriali, al fine di valorizzare l'implementazione dell'articolo 4, paragrafo 1(c), della Convenzione;

V. altri approcci, inclusi l'utilizzo di strumenti di mercato, per migliorare il costo-efficacia delle misure e promuovere, azioni di mitigazione tenendo conto delle diverse situazioni nei paesi sviluppati e in quelli in via di sviluppo;

VI. valutare le conseguenze economiche e sociali delle politiche di risposta;

VII. rafforzare il ruolo catalizzatore della Convenzione, nel promuovere organismi multilaterali, iniziative nel settore pubblico, privato e della società civile, favorire sinergie tra attività e processi, per supportare in maniera coerente e integrata le politiche di mitigazione;



c) Rafforzare azioni di adattamento comprendenti, *inter alia*:

I. Cooperazione internazionale per supportare urgenti azioni di adattamento, come valutazioni di vulnerabilità, individuazione delle priorità d'azione, valutazione dei bisogni finanziari, creazione delle competenze necessarie e formulazione di strategie di risposta, integrazione di azioni di adattamento nella pianificazione settoriale e nazionale, programmi e progetti specifici, incentivi per l'implementazione di azioni di adattamento, e altri modi per favorire lo sviluppo della resilienza climatica e ridurre la vulnerabilità delle Parti, tenendo conto dei bisogni urgenti e immediati dei Paesi in via di sviluppo che sono particolarmente vulnerabili agli effetti negativi dei cambiamenti climatici, specialmente i paesi meno sviluppati e le piccole isole, e tenendo inoltre in considerazione i bisogni dei paesi africani colpiti da siccità, desertificazione e alluvioni;

II. Gestione del rischio e strategie di riduzione del rischio, comprendenti la condivisione del rischio e meccanismi di trasferimento del rischio tramite assicurazioni;

III. Strategie di riduzione dei disastri e mezzi per affrontare perdite e danni associati agli impatti dei cambiamenti climatici nei paesi in via di sviluppo particolarmente vulnerabili agli effetti negativi dei cambiamenti climatici;

IV. Diversificazione economica per sviluppare resilienza;

V. Rafforzamento del ruolo catalizzatore della Convenzione nel promuovere organismi multilaterali, iniziative nel settore pubblico, privato e della società civile, favorire sinergie tra attività e processi, per supportare in maniera coerente e integrata le politiche di adattamento;

d) Migliorare l'azione per lo sviluppo e il trasferimento tecnologico per supportare azioni di mitigazione a adattamento, comprendenti, *inter alia*:

I. Meccanismi efficaci di rimozione degli ostacoli, mezzi finanziari e altri incentivi per potenziare lo sviluppo e il trasferimento tecnologico ai Paesi in via di sviluppo al fine di promuovere l'accesso economico alle tecnologie ambientali;

II. Modi per accelerare l'introduzione, la diffusione e il trasferimento di tecnologie economiche rispettose dell'ambiente;

III. Cooperazione nel campo della ricerca e sviluppo di tecnologie esistenti, nuove e innovative, in particolare quelle soluzioni che portano vantaggi a tutte le Parti (*win-win solutions*);

IV. Miglioramento dell'efficacia di meccanismi e strumenti per la cooperazione tecnologica in specifici settori;



e) Intensificare azioni per reperire risorse finanziarie e investimenti per supportare azioni di mitigazione, adattamento e cooperazione tecnologica, comprendenti, *inter alia*:

I. Migliorare l'accesso a risorse finanziarie adeguate, prevedibili e sostenibili; supporto tecnico e finanziario; reperire risorse nuove e addizionali, comprendenti fondi ufficiali e a tassi agevolati per i paesi in via di sviluppo;

II. Incentivi per le Parti costituite da paesi in via di sviluppo per intensificare l'attuazione di strategie di mitigazione e di adattamento;

III. Mezzi di finanziamento innovativi per assistere le Parti in via di sviluppo particolarmente vulnerabili agli impatti negativi dei cambiamenti climatici, nel fronteggiare i costi di adattamento;

IV. Incentivare l'implementazione di azioni di adattamento sulla base di politiche di sviluppo sostenibile;

V. Mobilitazione di fondi e investimenti pubblici e privati, comprese agevolazioni per investimenti verso tecnologie a basso tenore di carbonio;

VI. Supporto tecnico e finanziario per migliorare la valutazione economica dei costi di adattamento nei paesi in via di sviluppo, in particolare nei più vulnerabili, al fine di determinare i loro bisogni finanziari;

2. *Decide* che il processo dovrà essere condotto da un organismo sussidiario della Convenzione, istituito e conosciuto come Ad Hoc Working Group on Long Term Cooperative Action under the Convention, che completerà il suo lavoro nel 2009 e presenterà i risultati del suo lavoro, per l'adozione degli stessi, alla quindicesima sessione della Conferenza delle Parti;

3. *Conviene* che il processo inizi senza ritardi, che le sessioni del gruppo siano programmate appena possibile e necessario a completare il lavoro del gruppo, ove possibile in collaborazione con sessioni di altri organismi istituiti ai sensi della Convenzione, e che le sessioni siano completate da seminari e altre attività, come richiesto;

4. *Decide* che la prima sessione del gruppo si tenga appena possibile e non oltre Aprile 2008;

5. *Decide* che il Presidente e il Vicepresidente del gruppo, si alternino annualmente tra un rappresentante dei paesi Annex I e un rappresentante dei paesi Non-Annex I;

6. *Prende atto* del proposto calendario di incontri contenuto nell'allegato;

7. *Incarica* il gruppo di sviluppare il proprio programma di lavoro nella sua prima sessione, in modo coerente e integrato;



8. *Invita* le Parti a sottoporre al segretariato, entro il 22 febbraio 2008, le loro opinioni sul programma di lavoro, tenendo conto degli elementi di cui al precedente paragrafo 1, per essere compilato da parte del segretariato, per l'esame da parte del gruppo alla sua prima riunione di lavoro;

9. *Chiede* al gruppo di riferire alla Conferenza delle Parti nella sua quattordicesima sessione sui progressi compiuti;

10. *Conviene* di tenere conto dei progressi compiuti, alla quattordicesima sessione, sulla base della relazione del gruppo;

11. *Conviene* che il processo tenga conto, *inter alia*, delle migliori informazioni scientifiche disponibili, dell'esperienza nell'implementazione della Convenzione e del suo Protocollo di Kyoto, dei risultati provenienti da altri processi intergovernativi rilevanti e degli spunti provenienti dal mondo economico, accademico e dalla società civile;

12. *Constata* che l'organizzazione del lavoro del gruppo richiederà un significativo volume di risorse aggiuntive per garantire la partecipazione di delegati provenienti da Parti aventi diritto a essere finanziati, e a fornire servizi delle conferenze e sostanziale supporto;

13. *Esorta vivamente* le Parti in grado di farlo, a facilitare il lavoro del gruppo, a contribuire al Fondo fiduciario per la partecipazione al processo UNFCCC e del Fondo fiduciario per attività complementari per gli scopi di cui al precedente paragrafo 12 e a fornire altre forme di sostegno come ospitare una sessione del gruppo.

Sessione	Data
Sessione 1	Marzo/Aprile 2008;
Sessione 2	Giugno 2008, in contemporanea con la ventottesima sessione degli organismi sussidiari;
Sessione 3	Agosto/Settembre 2008;
Sessione 4	Dicembre 2008, in contemporanea con la quattordicesima sessione della Conferenza delle Parti.



maria.velardi@casaccia.enea.it



natale.caminiti@casaccia.enea.it



## Il progetto INNOHYP-CA: produzione di idrogeno mediante processi innovativi ad alta temperatura

Alberto Giaconia, Giorgio Giorgiantoni,  
Raffaele Liberatore, Pietro Tarquini,  
Mauro Vignolini

ENEA  
Dipartimento Tecnologie per l'Energia,  
le Fonti Rinnovabili e il Risparmio Energetico

*Il Progetto, finanziato  
nell'ambito del VI PQ, ha selezionato  
processi innovativi ad alta temperatura  
per una produzione di idrogeno  
su larga scala.*

*Nell'ambito del progetto l'ENEA  
ha contribuito all'analisi delle iniziative  
nazionali e regionali nei paesi europei,  
e alla definizione delle linee guida  
per un concreto sviluppo futuro  
di tali tecnologie*



L'idrogeno e l'energia elettrica hanno la prerogativa di diventare i principali vettori energetici in una futura economia energetica sostenibile. Insieme questi vettori possono infatti costituire lo strumento per la graduale riduzione della dipendenza dai combustibili fossili, delle emissioni di gas serra e di inquinanti locali, consentendo al contempo un sostanziale aumento del contributo delle fonti energetiche rinnovabili.

La produzione mondiale d'idrogeno, nel 2000 pari a circa 50 milioni di tonnellate, è equivalente ad una potenza termica continua annua di circa 200.000 MW. La domanda d'idrogeno per il solo settore della raffinazione del greggio, secondo varie previsioni, dovrebbe raddoppiare fino anche a quadruplicarsi nel prossimo decennio; a questa domanda di idrogeno andrà poi addizionata quella proveniente da altri settori industriali ed in particolare da quello dei trasporti. Attualmente, la maggior parte della produzione d'idrogeno in impianti di grande taglia avviene utilizzando idrocarburi o carbone, secondo processi che com-

## The INNOHYP-CA project: producing hydrogen by innovative high-temperature processes

*The Project, financed under the 6th  
Framework Programme, has selected  
a number of innovative high-temperature  
processes that seem promising for large-scale  
production of hydrogen.*

*ENEA has contributed to the analysis  
of the status of national and regional projects  
in the European countries and to the definition  
of guidelines for the future development  
of these technologies*



portano l'immissione in atmosfera di gas serra, in particolare del biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>).

La rimozione (o cattura) ed il successivo sequestro (o confinamento) di questo gas, al fine di limitarne l'immissione in atmosfera, non può che essere una tappa intermedia nella transizione ad un sistema energetico basato sul vettore idrogeno ("sistema idrogeno"). Il traguardo finale per un'economia dell'idrogeno, in un futuro sistema energetico sostenibile, sarà quello dell'impiego di tecnologie di conversione, trasporto e utilizzo ("Well-to-Wheel") che nel loro complesso non comportino produzione di gas serra.

Una delle principali sfide sarà quindi la produzione massiva di idrogeno a costi competitivi e in modo sostenibile. Ciò significa l'uso d'acqua come materia prima e di una fonte energetica primaria il cui impiego non produca gas serra. Tra le principali opzioni possibili per le fonti primarie troviamo quindi l'energia solare, eolica, geotermica, e nucleare.

Dal punto di vista dei processi massivi di produzione dell'idrogeno possiamo attualmente considerare l'elettrolisi con le sue nuove varianti ad alta temperatura, ed i cicli termochimici d'idrolisi [1]. Questi ultimi presentano un rendimento teorico di trasformazione fonte primaria-idrogeno più elevato dell'elettrolisi, perché evitano il passaggio della trasformazione calore-energia elettrica con le relative perdite di rendimento.

Dal punto di vista tecnologico la possibilità di trasformare direttamente il calore ad alta temperatura in energia chimica, al posto dei più comuni processi elettrochimici, consente di ridurre i problemi di "scale-up" tipici di questi ultimi, prerogativa molto importante per una futura applicazione intensiva su larga scala.

## Il progetto INNOHYP-CA

L'obiettivo del progetto INNOHYP-CA (INNOvative high temperature routes for HYdrogen Production – Coordinated Action) è proprio quello di chiarire le reali possibilità di sviluppo dei processi termochimici ad alta temperatura per la produzione di idrogeno, dando una risposta ai seguenti quesiti posti dalla Commissione Europea:

- 1) "quali" tra i processi ad alta temperatura in via di sviluppo sono più promettenti per una futura produzione centralizzata di idrogeno su larga scala;
  - 2) "come" realizzare lo sviluppo di tali processi, dallo stato attuale, fino alla maturazione per l'applicazione industriale.
- Per rispondere al primo quesito si è realizzato uno studio dello stato dell'arte sui processi di produzione di idrogeno ad alta temperatura, da quelli già ampiamente consolidati in campo industriale, fino a quelli più innovativi. È stata anche realizzata una panoramica sull'attuale situazione di sviluppo dei processi nell'ambito di iniziative recentemente realizzate a livello internazionale, nazionale e regionale nei paesi dell'Unione Europea. I processi studiati sono stati sottoposti ad un'analisi critica, sulla base di una metodologia di analisi basata su criteri di valutazione che tengono conto dei costi di produzione, della disponibilità di materie prime, dell'impatto ambientale (emissioni di GHG), della fattibilità scientifico-tecnologica, del grado di maturazione ecc. Su questa base è stato poi possibile risolvere la seconda questione (2), tracciando un percorso (*roadmap*) con tutti i *milestone* essenziali per lo sviluppo dei processi, mediante attività R&S da realizzarsi nei prossimi anni.

Il lavoro, iniziato a settembre 2004 e conclusosi con un Workshop internazionale a novembre 2006, è stato realizzato con l'apporto di esperti nel settore della produ-

zione di idrogeno, provenienti da enti di ricerca, università ed aziende: CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique [F]), DLR (Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt e.V. [D]), ENEA, CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas" [E]), Empresarios Agrupados [E], JRC ("Joint Research Center" [NI]), Università di Sheffield [UK] e CSIRO ("Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation" [AUS]).

I risultati ottenuti forniranno la base per un'ulteriore revisione critica a livello internazionale per acquistare una validità e una dimensione mondiale, nell'ambito di un progetto dell'IEA (International Energy Agency) sui processi ad alta temperatura per la produzione di idrogeno (IEA Hydrogen Implementing Agreement/High Temperature Process Hydrogen Production).

### Iniziative nei paesi europei sulla produzione di idrogeno

L'ENEA, all'interno del progetto INNOHYP, ha fornito il suo contributo alla realizzazione di tutte le fasi e ad uno studio [5] sulle iniziative di maggiore interesse indirizzate alla produzione di idrogeno, realizzate a livello nazionale o regionale nei paesi dell'Unione Europea. La ricerca ha quindi riguardato l'individuazione di gruppi e istituti di ricerca operanti in questo settore, con installazioni e strumenti già attivi o in fase di allestimento, utili per le attività di ricerca sull'idrogeno, secondo progetti in essere o recentemente conclusi.

Tali iniziative vanno ovviamente collocate nel contesto delle specifiche politiche energetiche nazionali che hanno più o meno incoraggiato la ricerca e lo sviluppo di determinate tecnologie sull'idrogeno. Nella figura 1 viene riportato un schema delle principali azioni intraprese. Esse possono essere riassunte in due gruppi.

Un primo gruppo di progetti riguarda attività di ricerca e sviluppo di processi per la produzione su larga scala di idrogeno, in particolare attraverso:

- *cicli termochimici*, alimentati da energia solare o da fonte nucleare;
- *elettrolisi dell'acqua*, alimentata da energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili;
- *processi ibridi*, alimentati sia da fonte fossile che da fonte rinnovabile;
- *gassificazione della biomassa*;
- *reforming o gassificazione* di materiale fossile.

Dettagli ed approfondimenti sulle caratteristiche di questi processi possono essere trovati anche in un recente lavoro pubblicato su *Energia, Ambiente e Innovazione* [6].

Nel secondo gruppo sono comprese le iniziative principalmente orientate alla dimostrazione dell'uso finale in sistemi a vario grado di integrazione con le altre fasi di produzione, trasporto e stoccaggio. Le più significative sono [5]:

- *produzione di idrogeno da utilizzarsi nel settore dei trasporti*;
- *produzione di idrogeno all'interno di progetti integrati* (in questo caso la generazione è solo uno step dell'intero progetto dimostrativo e non il fine stesso);
- *valorizzazione dell'idrogeno, come prodotto secondario di un particolare impianto*;
- *costituzione di piattaforme per condividere i risultati della ricerca sull'idrogeno*.

### Attività di ricerca e sviluppo in processi per la produzione su larga scala di idrogeno

#### *Cicli termochimici*

Riguardo ai cicli termochimici, le maggiori attività si registrano in Svizzera, Francia ed Italia.



In Svizzera, il Paul Sherrer Institut è da vari anni impegnato allo sviluppo del ciclo zinco-ossido di zinco alimentato da fonte solare. In questo ciclo, nella reazione tra zinco metallico fuso ed acqua, viene prodotto idrogeno ed ossido di zinco. La successiva decomposizione dell'ossido di Zn [1] mediante fonte solare a circa 2000 °C chiude il ciclo riottenendo Zn e ossigeno.

Questo ciclo, estremamente interessante per il numero minimo di reazioni coinvolte e per tipo di reagenti utilizzati, presenta tuttavia ancora vari punti da risolvere relativi alla:

- valutazione delle cinetiche di reazione;
- analisi dei processi di trasferimento del calore dalla radiazione solare;
- verifica delle reali possibilità di poter realizzare un appropriato *quench* (raffreddamento rapido) dei prodotti di dissociazione dell'ossido, in particolare dello zinco, essendo questo, al momento, il maggior punto critico del ciclo.

In Francia, oltre ad un grande programma nazionale (Pan-H) sono state avviate varie cooperazioni internazionali (INERI, HYTHEC) sui cicli termochimici (ciclo zolfo-iodio e ciclo Westinghouse), con l'obiettivo di alimentarli con reattori nucleari ad alta temperatura di nuova generazione.

È da segnalare l'attività ultraventennale del Centro Ricerche solari di Odeillo sui Pirenei, circa lo sviluppo di cicli termochimici volti alla produzione di idrogeno.

In Italia, dobbiamo ricordare in primo luogo il progetto TEPsi (2005-2009) finanziato dal Fondo Integrativo Speciale per la Ricerca nel programma strategico "Nuovi Sistemi di Produzione e Gestione dell'Energia", in cui l'ENEA svolge il ruolo di coordinatore collaborando con varie università ed aziende nazionali. Il progetto mira ai seguenti obiettivi:

- dimostrazione della fattibilità dei cicli termochimici mediante realizzazione di

un impianto in scala da laboratorio e la successiva progettazione di un impianto pilota (per il ciclo zolfo-iodio);

- ricerca e sviluppo di reattori solari;
- sviluppo di nuovi materiali per lo stoccaggio dell'idrogeno;
- produzione di idrogeno ed energia elettrica prodotta da idro-gassificatori di carbone.

#### *Gassificazione della biomassa*

Studi dimostrativi sulla produzione intensiva da gassificazione delle biomasse vengono effettuati in Austria, Svizzera, Italia ed Olanda. Tra di essi CRISGAS (2004-2009), coordinato dal Vaxjo Varnamo Biomass Gasification Centre (VVBGC) (SE) che vanta il budget maggiore (18 M€) e si propone la produzione di idrogeno per una potenza equivalente di 18 MWt.

Particolarmente significativo è anche il progetto "H<sub>2</sub> rich gas from biomass steam gasification" (coordinatore Università di Vienna, budget 2M€). Nell'ambito di questo progetto è stato già realizzato presso il Centro Ricerche ENEA della Trisaia (Basilicata) un impianto da 500 kWt, a letto fluidizzato con ricircolazione interna.

#### *Conversione di combustibili fossili*

Tra le iniziative che riguardano l'uso di combustibili fossili, le più importanti sono: ELCOGAS e COHYGEN. Scopo della prima è la dimostrazione di un impianto da 335 MWe a Puertellano, che integra la gassificazione del carbone ad un ciclo combinato in grado di utilizzare diversi tipi di combustibile. Obiettivo della seconda, invece, è il progetto e la costruzione di due impianti, in grado di gassificare 35 e 700 kg/h di carbone per produrre rispettivamente 20 e 400 kg/h di idrogeno a 1200 °C. Il progetto coinvolge: Sotacarbo, Ansaldo, Università di Genova e di Cagliari oltre all'ENEA.

SolRef e "Solar Hydrogen via Steam-Gasification of Petroleum Coke" sono due tra i principali progetti ad alimentazione ibrida, co-finanziati dalla Commissione Europea nell'ambito del VI programma Quadro. Il primo (2004-2007, budget di 3.5 M€), riguarda il *reforming* del metano e si avvale dell'energia solare per fornire calore alla reazione endotermica. Il secondo (2003-2006, budget 7M€) si avvale dei concentratori solari per alimentare un processo di gassificazione del petcoke. Entrambi hanno come obiettivo la riduzione di emissioni di CO<sub>2</sub> e, avvalendosi di tecnologie mature, sono eccellenti iniziative per il breve-medio termine.

#### *Elettrolisi*

Per quanto riguarda l'elettrolisi, di grande interesse è il programma *RES2H2*, coordinato dall'azienda spagnola Instalaciones Inabensa, al quale partecipano università, centri di ricerca e aziende di Grecia, Spagna, Portogallo, Germania, Svizzera e Cipro. Obiettivo del progetto è la produzione di idrogeno da fonti rinnovabili, in particolare dalla fonte eolica, e include la coproduzione di acqua potabile ed elettricità. L'impianto si avvale di un elettrolizzatore e di un impianto di dissalazione ad osmosi inversa alimentati dall'energia elettrica prodotta da aereomotori.

Dello stesso tipo sono anche i programmi: *-UTSIRA*, coordinato da Norsk Hydro (NO) e HaRI (UK). In questo progetto l'impianto di elettrolisi dell'acqua per la generazione di idrogeno viene alimentato da impianti fotovoltaici, mini idraulici ed eolici.

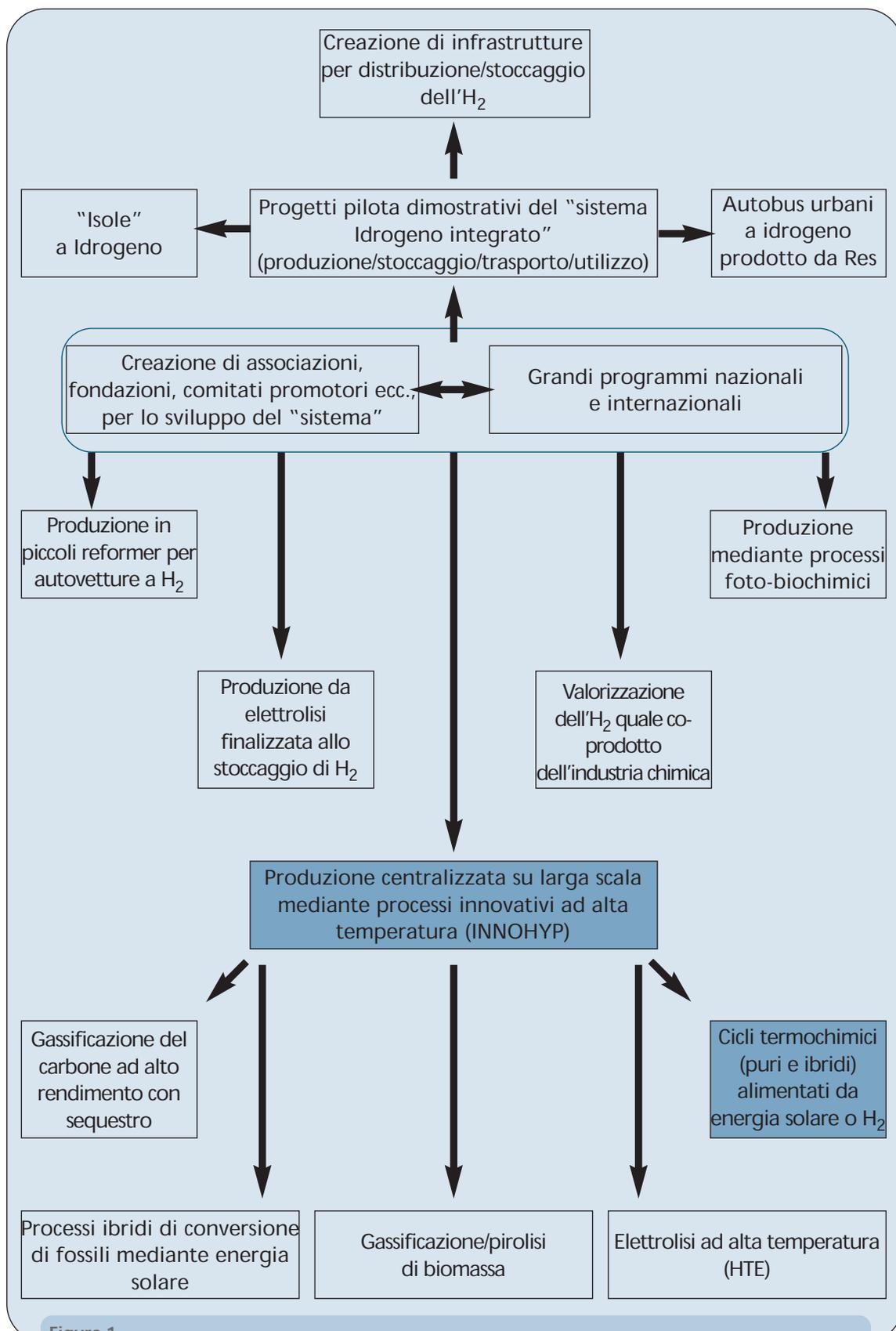
*-Hi2H2*, coordinato da EDF (F) con la collaborazione dei seguenti istituti: European Institute for Energy Research (D), Risø National Laboratory (DK), Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (CH), German Aerospace Centre (D).

Il progetto si propone la ricerca sulla produzione di idrogeno mediante elettrolisi ad alta temperatura. Il processo è costituito da un impianto per l'elettrolisi che fa uso di ossidi metallici e che lavora in un *range* di temperature compreso tra i 700 e i 900 °C. L'apporto di energia termica potrebbe essere fornito da una fonte solare, nucleare o geotermica.

#### *L'idrogeno quale coprodotto dell'industria chimica*

Vanno infine ricordate alcune iniziative come *Zero-Regio* in Höchst (Germania) ed *Hydrogen Park* a Venezia, che mirano a valorizzare l'idrogeno generato come prodotto secondario di impianti chimici usati per la manifattura di altri materiali (raffineria, impianti cloro-soda, unità di deidrogenazione negli impianti per l'etilene). Con il primo si intende valorizzare 8.000 t all'anno di idrogeno, con il secondo 30 Mm<sup>3</sup> annui, altrimenti utilizzati per scopi termici.

Per quanto riguarda *Hydrogen Park*, l'impianto Cloro-Soda della Syndial (gruppo Eni) produce circa 4.500 t/anno di idrogeno ad alta purezza. Fino al 2002 esso era impiegato nell'impianto TDI (toluene-di-isocianato) della Dow Poliuretani a Porto Marghera (Venezia). Al momento invece, a seguito della costruzione di un nuovo impianto di *reforming*, l'idrogeno prodotto in tal modo è usato come combustibile e bruciato insieme al gas naturale per scopi termici. L'impianto di *cracking*, deputato alla produzione di etilene e propilene, produce inoltre circa 2.500 t/anno di idrogeno che vengono inviati ai processi di combustione. Ulteriori 1000 t/anno vengono generate dagli impianti di *reforming* della raffineria di Porto Marghera. Vi sono pertanto circa 8.000 t/anno di idrogeno che consentirebbero ad esempio in sistemi a celle a combustibile, di alimentare 20.000 auto con una percorrenza media di 10.000 km/anno.



**Figura 1**  
Schema delle iniziative per la produzione di idrogeno nei paesi europei



## La roadmap per la produzione di idrogeno

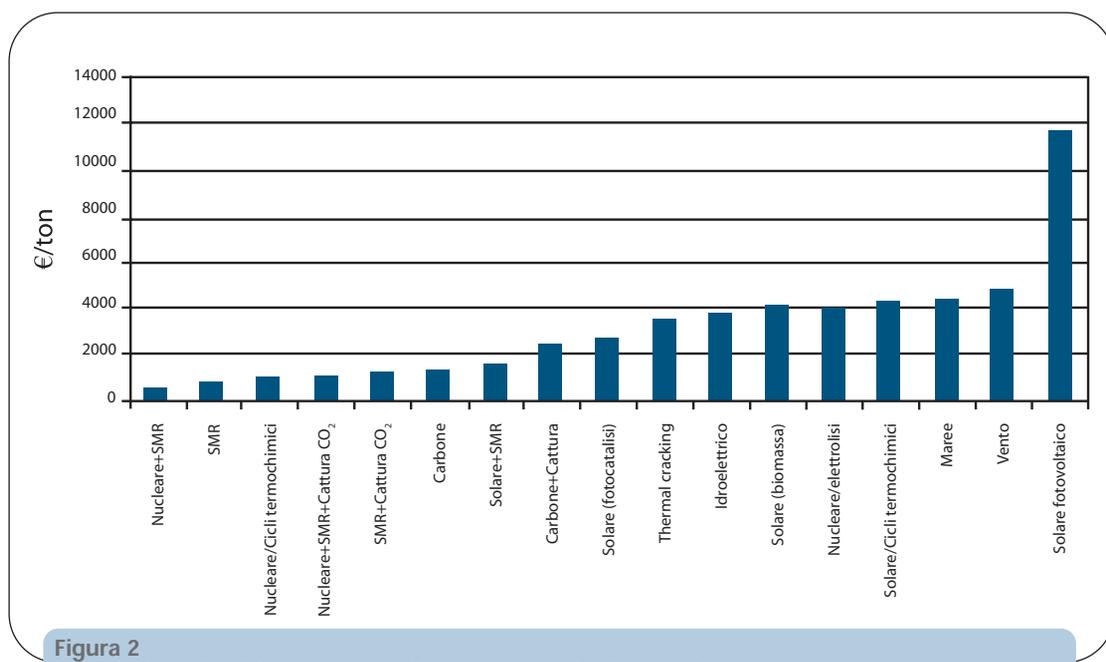
La seconda parte del progetto Innohyp si è incentrata sulla definizione di una *roadmap* da proporre alla Commissione Europea, al fine di orientare le future attività di ricerca e sviluppo in ambito europeo. Nel corso del progetto quindi è stato analizzato un ampio spettro di tecnologie di produzione dell'idrogeno, secondo cinque fattori: disponibilità energetica, impatto ambientale, livello di sviluppo della tecnologia, aspetti sociali e infine valutazioni economiche. Per quanto riguarda in particolare quest'ultimo fattore di valutazione, quello legato al costo di produzione attuale e futuro dell'idrogeno, i dati consolidati a livello industriale sono disponibili solo per tecnologie come *steam reforming* del metano, gassificazione del carbone e impianti di elettrolisi in piccola scala. Per quanto riguarda nuove tecnologie di produzione, tali costi si basano in-

ce principalmente su studi di fattibilità e valutazioni previsionali [1, 2, 3].

Nella figura 2 sono riportati in sintesi i risultati dell'analisi economica riguardante i costi di produzione in €/tonH<sub>2</sub> attuali e stimati.

Ad integrazione della valutazione dei costi di produzione va considerata ovviamente la disponibilità di energia primaria che gioca un ruolo fondamentale per quei processi che utilizzano risorse in esaurimento, tipo gas naturale, i cui costi potrebbero salire in maniera ingente. Al contrario è prevista una considerevole riduzione dei costi dai valori attuali, per quei processi che utilizzano energia solare, in considerazione del miglioramento della tecnologia sia termo-chimica che solare [4] dovuta anche ad un aumento della domanda.

La *roadmap* che è stata proposta si articola su due filoni principali, il primo riguardante i processi termochimici su cui orientare l'attenzione e il secondo riguardante attività di ricerca e sviluppo di tipo orizzontale.



**Figura 2**  
Stima dei costi dell'idrogeno per diverse tecnologie di produzione



### Processi termochimici

Questi processi sono stati classificati, in accordo al loro stato di sviluppo e all'energia primaria utilizzata, come processi convenzionali, di transizione, innovativi a lungo o lunghissimo termine.

I processi convenzionali sono quelli che già hanno avuto uno sviluppo industriale; questi fanno uso principalmente di combustibili fossili, dai quali viene prodotta anche anidride carbonica. I processi di transizione sono stati definiti come processi che producono idrogeno servendosi di combustibili fossili o di biomassa e che usano energia rinnovabile come fonte principale di calore di processo, ad esempio il solare. Questi hanno una minore emissione di anidride carbonica e danno l'opportunità di perfezionare le tecnologie innovative in vista dell'avvento dell'economia dell'idrogeno. I processi a lungo termine utilizzano acqua come fonte per l'idrogeno e si servono di risorse rinnovabili o di energia nucleare come fonte di calore. I processi a lunghissimo termine, infine, sono quelli di tipo biologico, fotochimico e fotoelettrochimico a temperature inferiori ai 100 °C, che al momento sono in una fase molto lontana da uno sviluppo di tipo industriale.

Come precedentemente accennato, nell'ambito del progetto sono stati effettuati degli approfondimenti riguardo ai parametri di processo, al livello di produzione, all'efficienza energetica, ai costi e alle emissioni, e sono stati selezionati 14 processi per una più accurata valutazione.

I parametri principali di scelta sono stati individuati nella disponibilità di materia prima e nella fattibilità del processo (aspetti tecnici). Diversamente, la redditività e l'efficienza non sono state considerate come criteri principali. Il motivo di questa scelta è stata la disomogeneità dei diversi processi, riguardo ai co-

sti di investimento in termini di scala d'impianto ed anni previsti per lo sviluppo, variabili, a seconda dei processi, da circa 20 ad 1 o 2 anni.

Riguardo agli aspetti tecnici, dagli studi effettuati su dati ottenuti da impianti solari ad alta temperatura già in esercizio da anni in Spagna e negli Stati Uniti, è emerso che l'efficienza termica ed ottica connessa al ricevitore solare è inversamente proporzionale alla temperatura. Questo fenomeno è stato riassunto in figura 3, nella quale viene graficato l'andamento dell'efficienza termica e ottica in funzione della temperatura del ricevitore. Nell'ambito del progetto Innohyp dunque, i processi che richiedono temperature superiori ai 1.300 °C sono stati ritenuti di difficile gestione e bisognosi di ulteriore ricerca per lo sviluppo dei componenti, sia a causa degli stress termomeccanici applicati ai ricevitori/reattori solari che per le perdite che riducono il rendimento complessivo del ciclo.

Gli aspetti sociali e ambientali, pur essendo stati oggetto di ampia discussione non hanno costituito, per il momento, un fattore discriminante, ma hanno comunque contribuito a selezionare i cicli più promettenti.

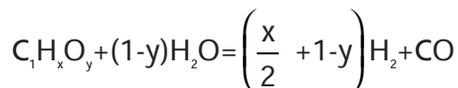
I processi di produzione di idrogeno selezionati sono poi stati divisi in tre gruppi relativamente al loro periodo di sviluppo (dalla transizione al lungo termine), che di seguito riportiamo.

**BREVE TERMINE**, per i quali si ritiene di poter arrivare entro il 2013 alla costruzione di un impianto pilota. In questo caso i processi considerati sono:

- lo *steam reforming* solare del gas naturale (Solar Steam Methane Reforming)  $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + 4\text{H}_2$ ;
- il processo SolZinc, ovvero produzione di zinco metallico da riduzione carbo-termica dell'ossido di zinco,  $\text{ZnO} + \text{C} = \text{Zn} + \text{CO}$

assistita da solare e successiva produzione di idrogeno con la reazione  $Zn+H_2O = ZnO+H_2$ ;

- la gassificazione solare del Petcoke e il *reforming* (Solar Gasification and Reforming of Petcoke) di residui pesanti del petrolio secondo la reazione generale



Per riassumere: questi sono processi di transizione che fanno uso di una risorsa fossile e sono co-alimentati energeticamente dalla fonte solare, con una conseguente sensibile riduzione dei consumi della risorsa fossile e delle relative emissioni gassose in atmosfera.

**MEDIO TERMINE**, per i quali è prevista la possibilità della costruzione di un impianto pilota per una fase dimostrativa tra il 2013 e il 2020. In questo caso i processi selezionati sono:

- Westinghouse, un processo ibrido per la produzione di idrogeno da acqua, che coinvolge una parte termochimica per la dissociazione dell'acido solforico in anidride solforosa, acqua e ossigeno ed uno di elettrolisi per la produzione di idrogeno e acido solforico a partire da acqua ed anidride solforosa;
- Zolfo-iodio, un processo interamente

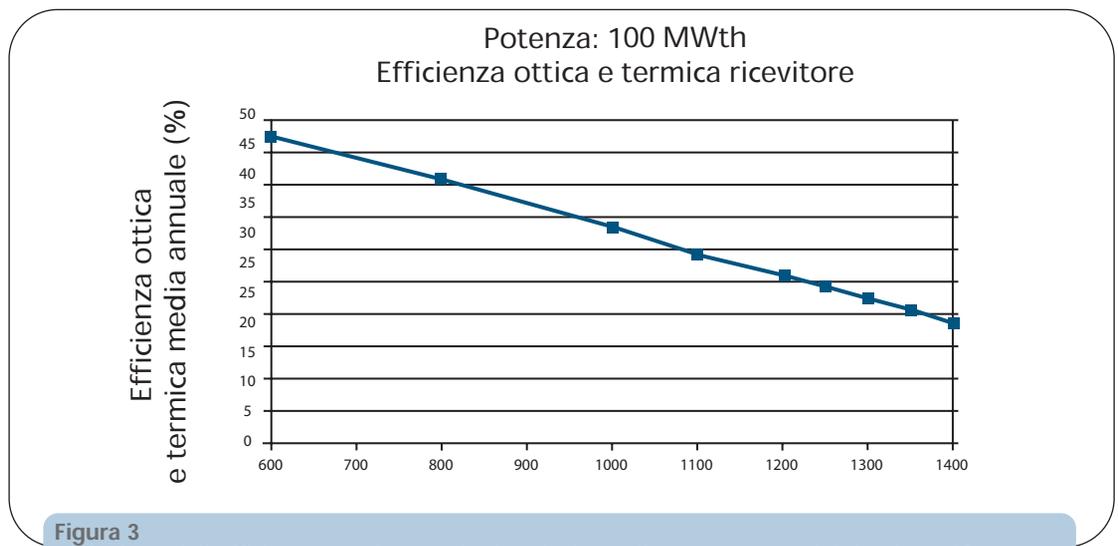
termochimico che produce ossigeno e idrogeno a partire da acqua, attraverso 3 reazioni chimiche a diversi livelli di temperatura, che coinvolgono la dissociazione dell'acido solforico (come nel Westinghouse), la dissociazione dell'acido iodidrico in idrogeno e iodio e la produzione dei due acidi menzionati a partire da iodio, anidride solforosa ed acqua ;

- Ferriti miste, altro processo termochimico che produce ossigeno e idrogeno a partire da acqua, mediante due reazioni che decompongono e rigenerano la ferrite di manganese, con contemporanea produzione e consumo di anidride carbonica e carbonato di sodio;
- Elettrolisi ad alta temperatura, un processo di elettrolisi a temperature di 700-900 °C, in grado di aumentare notevolmente l'efficienza.

I processi per la produzione di idrogeno indicati per il medio termine non producono anidride carbonica e sono attualmente in fase di sviluppo.

**LUNGO TERMINE**, per i quali è prevista una fase dimostrativa oltre il 2020. I cicli individuati per una attività di ricerca sono stati:

- Zn/ZnO;



**Figura 3** Variazione dell'efficienza termica e ottica in relazione alla temperatura del ricevitore (fonte: Inohyp CA - Completion of roadmap)



- CeO/CeO<sub>2</sub>;
- Cloro-Rame;
- Cloro-Cerio.

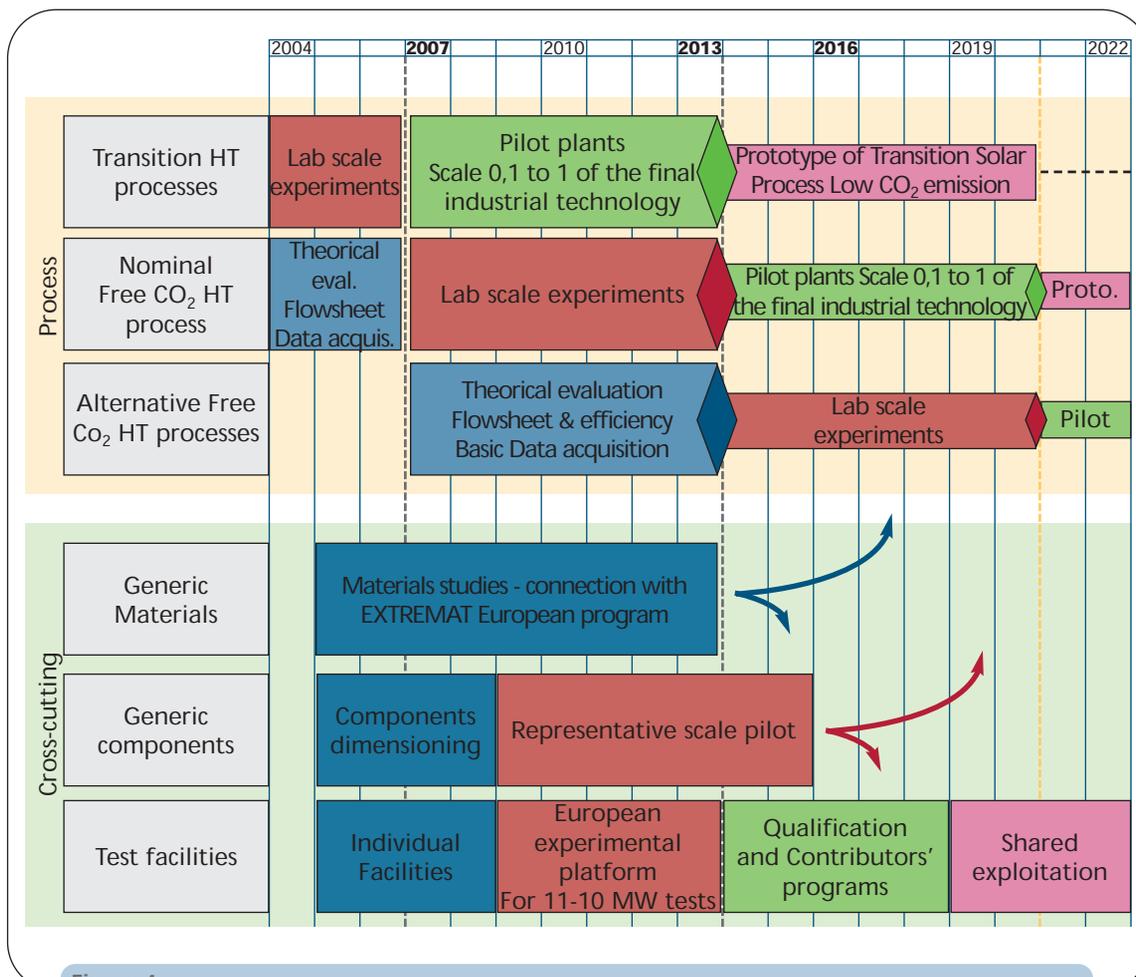
Questi ultimi, come i cicli a medio termine, non danno emissioni di anidride carbonica e sono stati proposti con l'obiettivo di ridurre i problemi di tipo tecnologico e di impatto ambientale. Sono tuttavia processi in una prima fase di studio e richiedono un tempo più lungo per le necessarie verifiche scientifiche e tecnologiche, prima di poter avviare uno sviluppo di tipo prototipale.

**Azioni orizzontali**

Secondo la *roadmap* elaborata dal progetto InnoHyp, la ricerca e lo sviluppo di nuovi materiali in grado di resistere alla combinazione degli ambienti in genere forte-

mente aggressivi e delle alte temperature tipiche dei cicli termochimici, dovranno avere un ruolo importante.

Tali materiali dovranno in genere avere alta conducibilità termica, buona lavorabilità ed elevate proprietà meccaniche. Gli appartenenti alla famiglia del Carbonio-Silicio sembrano essere in grado di soddisfare dette condizioni e sarà comunque necessario lo sviluppo di metodi di costruzione di componenti di grandi dimensioni (scambiatori di calore, valvole, pompe ecc.). Su questo specifico tema è stato già finanziato ed è attivo il Programma Europeo Extremat. In generale, comunque, l'attività di ricerca e sviluppo su questa classe di materiali e componenti, per l'applicazione alle fasi più critiche dei processi termochimici,



**Figura 4**  
 Schema della *roadmap* europea per la produzione massiva di idrogeno ad alta temperatura proposta da Innohyp (fonte: Innohyp CA – Completion of roadmap)

dovrebbe essere svolta e conclusa intorno al 2015.

Un altro importante tema è rappresentato dallo sviluppo di idonei catalizzatori, spesso indispensabili in questi processi; nella *roadmap* se ne dovrà prevedere uno studio approfondito, per migliorarne l'efficienza, il costo e l'affidabilità.

Tra le azioni orizzontali (*cross-cutting actions*), gioca un ruolo fondamentale anche la possibilità di condividere alcune apparecchiature o impianti, in particolare nel campo del solare e nucleare ad alta temperatura, per la realizzazione di *test* in scala rappresentativa, soprattutto per verificare i componenti principali come reattori solari o scambiatori di calore ad alta temperatura necessari alla realizzazione di processi per la produzione di idrogeno a livello industriale.

Quanto prima accennato è riportato sinteticamente nella figura 4, che riassume nell'arco temporale che va dal 2007 al 2022, le varie attività proposte e la loro articolazione temporale.

## Conclusioni

Il progetto INNOHYP-CA ha permesso di realizzare una revisione critica delle potenzialità di sviluppo dei processi termochimici di produzione di idrogeno, in vista di una loro applicazione su larga scala in un futuro scenario basato sull'impiego di tale vettore energetico.

I processi ad alta temperatura ( $> 200^{\circ}\text{C}$ ) permetterebbero elevate rese di trasformazione energia primaria-idrogeno nel caso di produzione centralizzata in grossi impianti di conversione ( $> 10.000 \text{ m}^3/\text{ora}$  di idrogeno).

L'analisi dello stato dell'arte e dell'attuale stato di sviluppo dei processi di produzione nei paesi europei è stato alla base di tale lavoro. È stata anche sviluppata un'apposita metodologia per l'analisi dei processi, sebbene sia estremamente difficile con-

frontare processi con stato di maturazione molto differente.

Successivamente è stato quindi possibile tracciare la *roadmap* relativa allo sviluppo dei processi di produzione di idrogeno nei prossimi 15 anni, suddividendo le azioni in breve, medio e lungo termine.

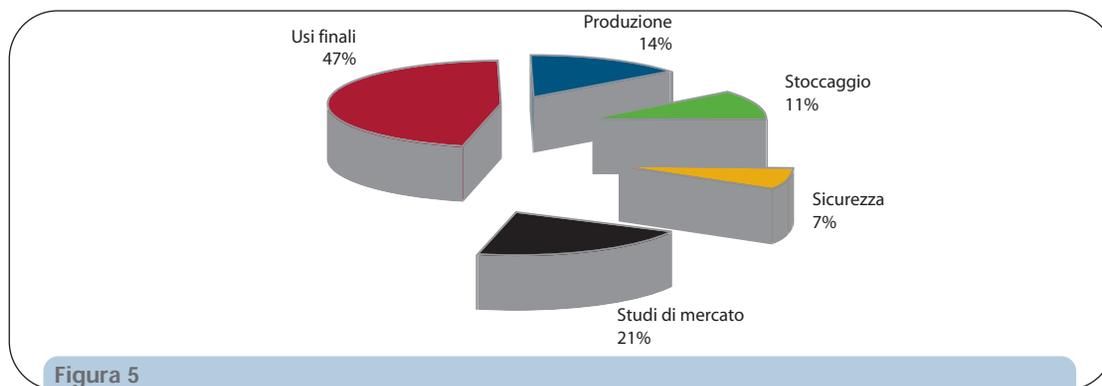
Dall'esame delle strategie incoraggiate dalla Commissione Europea fino a questo momento, è emerso che la maggior parte dei fondi per le attività R&S sull'idrogeno sono stati indirizzati all'utilizzazione (specialmente per il miglioramento dei sistemi a FC), piuttosto che allo studio di processi innovativi per la produzione di idrogeno. Questa considerazione è confermata dai dati relativi ai fondi stanziati dalla Commissione Europea per i progetti del VI Programma Quadro, dove solo il 14% del budget totale è stato assegnato alla produzione (figura 5), mentre ben il 47% è andato all'utilizzazione. Questo stesso *trend* sembra essere valido anche a livello nazionale. Si deve tuttavia convenire che le tecnologie di produzione dell'idrogeno da fonti non fossili non sono ancora mature, anche se la produzione ottenuta da fonti rinnovabili basata su processi termochimici alimentati da energia solare ad alta temperatura rappresenta una risposta di grande valenza in termini di risorse energetiche disponibili, di compatibilità ambientale e di potenziale riduzione dei costi di produzione per l'alto rendimento complessivo di trasformazione. Quindi, in vista di un impiego intensivo di idrogeno come vettore energetico per il medio e lungo termine, occorre un forte impegno nella ricerca e nella promozione di tecnologie innovative che possano realmente fornire una produzione massiva e sostenibile.

Rendere la produzione di idrogeno in breve tempo economicamente e tecnologicamente vantaggiosa non può che dare un forte impulso verso il suo impiego, traendo quindi sempre più risorse e interesse per la sua applicazione. Alter-



nativamente, quello della produzione sostenibile rimarrebbe ancora a lungo un anello debole della "catena dell'idrogeno", ritardando così tutto il processo di

transizione verso quel "sistema idrogeno" che rappresenta un tassello fondamentale del futuro sistema energetico sostenibile.



**Figura 5**  
Distribuzione dei fondi europei sull'idrogeno nell'ambito del VI Programma Quadro

## Bibliografia

[1] Steinfeld, Solar hydrogen production via a two-step water-splitting thermochemical cycle based on Zn=ZnO redox reactions, *International Journal of Hydrogen Energy* 27 (2002), 611-619.

[2] A. Giaconia, R. Grena, M. Lanchi, R. Liberatore, P. Tarquini. "H<sub>2</sub>/Methanol Production by Sulfur-Iodine Thermochemical Cycle Powered by Combined Solar/Fossil Energy". Conference proceedings: Aiche 2005, April, 10th-14th in press on Int. Journal of H<sub>2</sub> Energy.

[3] Lipman T.E. "What Will Power the Hydrogen Economy? Present and Future Sources of Hydrogen Energy", UCD-ITS-RR-04-10, Institute of Transportation Studies - Davis One Shields Ave., University of California, July 2004.

[4] Cost Reduction study for solar thermal power plants, report prepared for the World Bank, Washington, D.C., 1999.

[5] A. Giaconia, G. Giorgiantoni, R. Liberatore, P. Tarquini, B. Milow "State of art on the national and regional initiatives on hydrogen production: survey in European Countries", *Rapporto INNOHYP-CA*, D6, 2005.

[6] A. Giaconia, P. Tarquini, M. Vignolini, "Cicli termochimici di idrolisi per la produzione di idrogeno", *Energia, ambiente e innovazione* 3/06.



[alberto.giaconia@casaccia.enea.it](mailto:alberto.giaconia@casaccia.enea.it)



[giorgio.giorgiantoni@casaccia.enea.it](mailto:giorgio.giorgiantoni@casaccia.enea.it)



[raffaele.liberatore@casaccia.enea.it](mailto:raffaele.liberatore@casaccia.enea.it)



[pietro.tarquini@casaccia.enea.it](mailto:pietro.tarquini@casaccia.enea.it)



[vignolini@casaccia.enea.it](mailto:vignolini@casaccia.enea.it)

## Tecniche innovative di "Remote Sensing" per il monitoraggio della vegetazione

Flavio Borfecchia<sup>1</sup>, Luigi De Cecco<sup>1</sup>,  
Antonio Bruno Della Rocca<sup>1</sup>,  
Anna Farneti<sup>1</sup>, Luigi La Porta<sup>1</sup>,  
Sandro Martini<sup>1</sup>, Ludovica Giordano<sup>2</sup>,  
Claudia Trotta<sup>2</sup>, Sabrina Marcoccia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ENEA, Dipartimento Ambiente, Clima Globale e Sostenibilità

<sup>2</sup>ENEA, Dipartimento Biotecnologie,  
Agroindustria e protezione della Salute

<sup>3</sup>Terrasystem Srl

*Le metodologie sviluppate per l'utilizzo del sistema di telerilevamento aereo ASPIS offrono un contributo importante nel monitoraggio di parametri biofisici per lo studio degli effetti dei cambiamenti climatici, della desertificazione e dell'impatto antropico sulla vegetazione mediterranea seminaturale ed agricola*



Le moderne tecnologie di osservazione satellitare forniscono ormai una fonte insostituibile di dati relativi alla superficie terrestre in grado di garantire informazioni estensive su variabili geofisiche e biofisiche caratterizzate dall'ampia copertura spaziale e dalla ripetitività nel tempo necessarie per il tempestivo ed efficace monitoraggio degli ecosistemi a scala globale, regionale e locale.

Ciò premesso va detto che se con l'avvento delle nuove tecnologie spaziali, per lo più legate ai satelliti (alcuni dei quali prettamente dedicati al monitoraggio ambientale a varie scale), oggi è possibile affermare che i dati ambientali acquisiti a scala globale coprono molte delle necessità di cui sopra, oltretutto ad un costo sempre decrescente, rimangono tuttavia inadeguate la produzione e la reperibilità del dato telerilevato a scala locale, di dettaglio, con caratteristiche di flessibilità e tempestività nelle modalità di acquisizione. La necessità di questi ultimi può manifestarsi ad esempio al verificarsi di un evento catastrofico (alluvione, incendio) ma anche per l'identificazione ed

## Innovative Remote Sensing techniques for vegetation monitoring

*This paper describes methods developed for using ASPIS (Advanced SPectroscopic Imaging System) to monitor biophysical parameters in studying the effects of climate change, desertification and land degradation on semi-natural and agricultural vegetation in the Mediterranean region*



il controllo dei processi ecologici allo stadio iniziale e/o meno evidente quali, ad esempio, quelli di degrado e stress della vegetazione, che unitamente alla notevole frammentazione sempre più spesso caratterizzano gli agro-ecosistemi della regione del bacino del Mediterraneo. In altre parole l'utilizzo di sensori spaziali satellitari attualmente disponibili talvolta risulta non ideale a causa di una copertura temporale (tempo che intercorre tra un'acquisizione e la successiva nella stessa area) e/o una discriminazione spaziale e spettrale non sufficienti alle specifiche finalità applicative.

In quest'ottica, può risultare opportuno introdurre rilevamenti da piattaforma aerea a scala di maggior dettaglio. Tali dati possono essere convenientemente utilizzati anche per realizzare una calibrazione intermedia, col supporto della quale procedere all'elaborazione dei dati telerilevati satellitari, riducendo il numero (e quindi i costi) delle misure a terra altrimenti necessarie per una calibrazione diretta del dato da satellite. In Italia tuttavia la produzione di dati telerilevati da piattaforma aerea è oggi caratterizzata da un'attività di volo limitata, pur con una flotta disponibile ampia, con un alto costo di gestione dei velivoli e dei sistemi alloggiati, derivanti per la maggior parte da tecnologia legata ai satelliti (il che spesso costituisce un ulteriore aggravio economico).

Con questi presupposti, nell'ambito del progetto SADE (*Sensori Aerospaziali per il monitoraggio dei fenomeni di Desertificazione*), sviluppatosi in sinergia con le altre linee di ricerca del PON (MIUR 2002-2005) RIADE (*Ricerca Integrata per l'Applicazione di tecnologie e processi innovativi per la lotta alla Desertificazione*), in collaborazione con l'Università della Tuscia, è stata avviata e condotta un'attività dedicata alla messa a punto di metodologie e strategie per l'utilizzo efficace del sensore aviotrasportato ASPIS (*Advanced SPectroscopic Imaging System*). L'obiettivo è stato, da una parte spe-

rimentare e mettere a punto questo sistema innovativo per telerilevamento aereo e, dall'altra supportare una più efficace calibrazione dei rilievi satellitari (Ikonos e Landsat) impiegati in altre attività [1] del progetto RIADE, nello specifico contesto operativo relativo al monitoraggio della vegetazione semi-naturale ed agricola soggetta a stress abiotici di tipo idrico e/o salino.

Nel seguito sono pertanto descritte le procedure di correzione e di calibrazione sviluppate per i dati ASPIS, acquisiti in contemporanea a campagne di misura a terra di specifici parametri biofisici della vegetazione nel 2004 e 2005. Le aree d'interesse sono localizzate nell'Italia meridionale (costa ionica della Basilicata, aree di Foggia e Manfredonia), in zone dove la vegetazione è soggetta a fenomeni di stress sopra menzionati.

La rilevazione a terra di parametri biofisici specifici, quali il contenuto idrico fogliare, il contenuto salino dei suoli e l'indice di area fogliare (LAI), unitamente alle riflettanze (iper)spettrali acquisite con radiometro portatile ASD FieldSpecPro, sulle associazioni vegetali d'interesse, ha permesso altresì l'analisi preventiva delle sensibilità, sotto forma di correlazione, delle varie bande spettrali di ASPIS e dei relativi indici spettrali, da esse derivabili, alle variazioni di tali parametri biofisici.

## Il sistema ASPIS

Il sistema ASPIS, nato come sistema di telerilevamento aereo dalla collaborazione fra il Consorzio per le Ricerche Alimentari (CO.RI.AL) di Foggia, la DTA di Pisa, il CNR IBIMET, l'OPTEC di Milano e il Dipartimento di Scienze Forestali dell'Università della Tuscia [2] ed attualmente gestito dalla Terrasystem Srl, si caratterizza per la notevole economicità e flessibilità nell'utilizzo. Il sensore principale, da cui prende il nome l'intero sistema, è basato su 4 camere digitali indipendenti a CCD (Charged Coupled Devi-

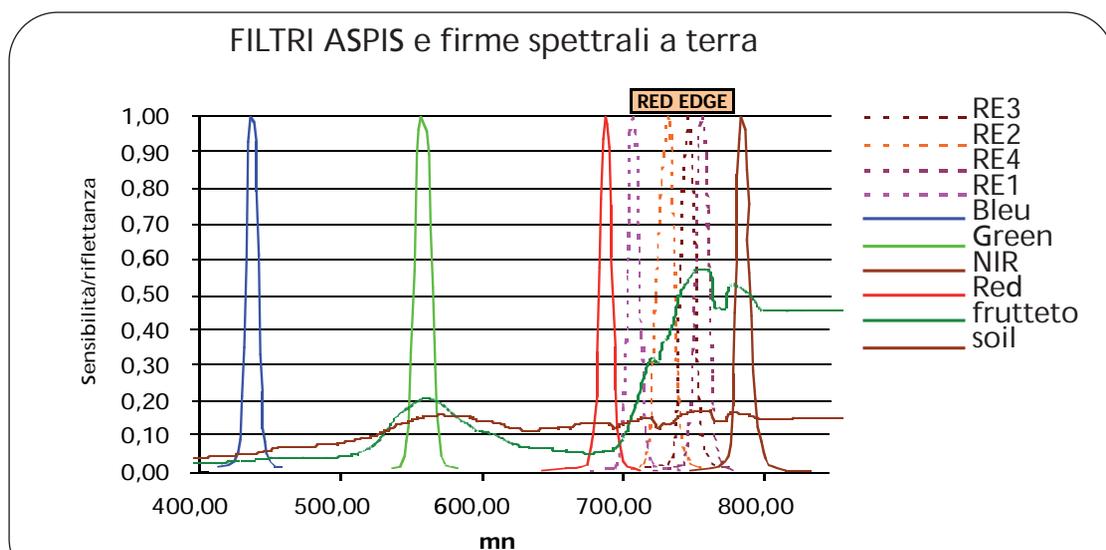
ce), ognuna con la propria ottica e con filtri intercambiabili che permettono di selezionare le bande di acquisizione nello spettro del visibile (Red, Green, Blu) e vicino infrarosso (NIR) sino a  $1,1 \mu$ , in funzione delle necessità della missione. La risoluzione spettrale, di circa 5-7 nm, e radiometrica di 14 bit, rendono le caratteristiche del sensore paragonabili a quelle dei sistemi di telerilevamento iperspettrali, dalla gestione notevolmente più pesante ed impegnativa. Oltre agli usuali componenti nel visibile e NIR l'apparato è, per esempio, in grado di riprendere con 4 bande in corrispondenza della zona spettrale cosiddetta *Red Edge* (figura 1), collocata tra Red e NIR, (da circa 700 a 750 nm), range spettrale in cui la vegetazione presenta un incremento notevole della riflettanza [7,8] che risulta particolarmente sensibile al genere di fattori di stress abiotico [10] sopra citati (stress idrico e/o salino). Inoltre la sua piattaforma, un aereo certificato SKY ARROW 650 TC biposto, a metà strada tra un ultraleggero ed un aereo standard, ha un'autonomia di volo di 3,5 ore, consente l'utilizzo di piste e non vincola l'impiego del velivolo alle onerose procedure tipiche degli aeroporti. Il sistema dispone anche di un ricevitore GPS integrato,

in grado di acquisire punti di riferimento sui quali impostare la rotta e la correzione geometrica delle immagini riprese. Esso inoltre è in grado di operare con altri sensori utili a caratterizzare ulteriormente le aree monitorate, come il sistema DFR - Duncan Flier Riegl, per l'acquisizione di immagini multispettrali (RGB-8 bit) con risoluzione geometrica maggiore di ASPIS, una camera termica ed un altimetro laser.

In definitiva, le caratteristiche di velocità ed efficienza delle camere CCD, di risoluzione spettrale (banda stretta) e radiometrica, nonché di flessibilità, sia in termini di modalità operative che di configurazione strumentale ed economicità del sistema, fanno di ASPIS una piattaforma ideale per il monitoraggio dei fenomeni d'interesse.

### Rilievi a terra ed aerei

Le zone oggetto di questo studio ricadono nell'Italia meridionale dove sono più accentuati i fenomeni di degrado e di stress abiotico sopra citati. In particolare, le prime due aree sono state individuate sulla costa ionica della Basilicata. La prima, sita in località Pantano, è caratterizzata da vegetazione seminaturale (bosco Pantano) ed agricola,



**Figura 1** Risposte spettrali dei canali ASPIS e riflettanze (firme) iperspettrali di suolo (soil) e foglie (frutteto) rilevate nel 2004 tramite radiometro portatile ASD



in prevalenza frutteti; l'altra, più all'interno, denominata Monte Coppolo, è caratterizzata da un bosco caducifoglio, una lecceta e da macchia mediterranea. Tali zone della costa ionica presentano sovente effetti di stress legati alla scarsa disponibilità della risorsa idrica (da irrigazione e/o piovosità). Le altre aree di test si collocano in Puglia, presso l'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura di Foggia e nelle zone di Manfredonia e del lago di Lesina, tutte caratterizzate da coltivazioni cerealicole soggette, oltre che a fenomeni di stress idrico legati alla siccità, anche ad effetti di salinizzazione dei suoli, dovuta ad eccessivo emungimento della falda, specialmente in vicinanza del litorale.

Per quanto riguarda i rilievi a terra, nelle campagne condotte a luglio 2004, nell'area del bosco Pantano ed a Monte Coppolo sono state effettuate misure di LAI (Leaf Area Index) sulla vegetazione semi-naturale, tramite apposite attrezzature basate sulla stima della luce solare trasmessa attraverso le chiome arboree (LI-COR LAI 2000). Il LAI, densità di superficie fogliare, è un importante parametro biofisico che caratterizza la vegetazione in termini di capacità di scambio di gas ed energia con l'atmosfera, interazioni elettromagnetiche, produttività. Nel maggio 2005 inoltre sono state ripetute le misure di LAI sulle stesse aree (ma in punti diversi) della costa ionica dove erano stati effettuati i rilievi l'anno prima. Inoltre, nella campagna del 2004, sulle coltivazioni a frutteto circostanti sono stati prelevati campioni di foglie ed effettuate misure di indici rappresentativi del contenuto d'acqua fogliare, il Relative Water Content (RWC) e il Fuel Moisture Content (FMC). Nello stesso anno, sulle coltivazioni cerealicole nei pressi del lago di Lesina, in Puglia, sono stati acquisiti dati di conducibilità elettrica ( $\mu\text{S}/\text{m}$ ) dei suoli connessa al loro livello di salinizzazione.

Presso l'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura di Foggia e nella zona di Manfre-

donia, nell'aprile 2005, sono stati misurati l'RWC, l'FMC e la conducibilità dei suoli. Inoltre, sugli stessi campioni di foglie, caratterizzati per il contenuto idrico fogliare, sono state preventivamente acquisite le firme iperspettrali tramite radiometro portatile ASD Fieldspec Pro, allo scopo di correlare il parametro biofisico con la risposta iperspettrale a terra. Infine misure iperspettrali tramite ASD sono state rilevate appositamente su *target* sufficientemente omogenei per utilizzarle come riferimento a terra nella procedura di correzione atmosferica e calibrazione radiometrica delle immagini multispettrali ASPIS.

Tutte le misurazioni a terra sono georiferite tramite tecniche GPS (Global Positioning System) differenziali in modo da poterle poi abbinare ai dati derivati dalle immagini ASPIS. Le misure dei parametri biofisici e di riflettanza iperspettrale, tramite radiometro, sono state eseguite in sincronia con i rilievi aerei ASPIS. Questi ultimi sono stati effettuati adottando due combinazioni di 4 bande per le camere CCD denominate rispettivamente configurazione NDVI (dall'indice spettrale omonimo da esse ricavato successivamente) e configurazione RE (Red Edge). Tali combinazioni sono composte rispettivamente dalle bande Green, Red, Red Edge1 e NIR, la prima, e da quattro bande tutte comprese nella regione spettrale del "red edge" (RE1, RE2, RE3, RE4), la seconda. In tabella 1 si riportano alcuni dati riassuntivi ed alcune caratteristiche dei voli ASPIS del 2004 a titolo di esempio.

### Preelaborazione

L'utilizzo quantitativo delle immagini telerilevate, sotto forma di segnale elettromagnetico bidimensionale, per la stima di variabili geofisiche sulla superficie terrestre, è subordinato alla capacità di ricavare da esso l'apporto direttamente a queste connesso, depurandolo dai vari contributi di rumore ed artefatti introdotti nel pro-

cesso di acquisizione tramite adeguate procedure di preelaborazione radiometrica e geometrica. In particolare, la correzione geometrica serve ad inquadrare geograficamente il dato telerilevato correggendone contemporaneamente le distorsioni dovute all'assetto della piattaforma ed alla topografia locale (ortocorrezione).

L'elaborazione radiometrica invece mira a risalire dalla radianza ( $W/m^2 \cdot \text{str} \cdot \mu$ ) rilevata al sensore, codificata usualmente nell'immagine grezza sotto forma di valori numerici interi, detti Digital Number (DN), alla relativa riflettanza (energia riflessa/energia incidente) a terra.

È la riflettanza a terra infatti che rappresenta la grandezza più direttamente connessa alle caratteristiche intrinseche, fisiche e biofisiche, degli oggetti ripresi, mentre la radianza al sensore include il rumore introdotto da scattering ed assorbimento di gas ed aerosol in atmosfera nonché gli effetti sul segnale determinati dalla specifica configurazione sole-sensore-target, e dalla topografia locale, noti come (effetti di) riflettanza bidirezionale (BDRF). Il numero di bit utilizzati per la codifica in DN esprime in termini di potenza di 2 i livelli disponibili nell'immagine (risoluzione radiometrica) risultante.

In generale, a supporto dell'utilizzo quantitativo del dato telerilevato sono utilizzati modelli matematici di varia complessità basati sia sulla fisica delle interazioni elettromagnetiche coinvolte sia su approcci statistici. Questi ultimi fanno uso diffusamente del livello di correlazione tra varie

combinazioni dei segnali nelle diverse lunghezze d'onda (indici spettrali) e le variabili biofisiche d'interesse. Come per gli indici spettrali, anche quest'ultime sono espresse sovente sotto forma di varie espressioni (indici biofisici) legate alla riduzione del rumore, a modalità di misurazione e/o esigenze di standardizzazione (ad esempio, indici di contenuto idrico fogliare RWC ed FMC qui utilizzati).

Per la preelaborazione radiometrica dei dati ASPIS è stata messa a punto una procedura "ad hoc" che, sfruttando le rilevazioni iperspettrali a terra effettuate con il radiometro ASD, ha consentito una loro calibrazione [3] e correzione per gli effetti atmosferici basata sul codice di simulazione atmosferica 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) [5] ed integrata da un approccio *image-based* [9], per la stima della trasparenza atmosferica al momento delle riprese. Per gli effetti di riflettanza bidirezionale sono state impiegate le coordinate angolari di vista (zenit ed azimut) di ogni pixel delle immagini (figure 2, 3) derivate dai parametri di assetto ottenuti per ogni componente spettrale nel processo di correzione geometrica descritto nel seguito. La calibrazione dei modelli per la stima della BDRF [4] è stata effettuata utilizzando le ampie aree di sovrapposizione delle varie immagini acquisite (figura 5).

A differenza dei sensori per telerilevamento comunemente utilizzati, ASPIS acquisisce le immagini nelle 4 diverse bande spettrali attraverso 4 differenti ottiche, il che

Tabella 1 - Dati riassuntivi sulle campagne di rilievi ASPIS del 2004

Area di studio	Data di acquisizione	Altezza di volo	Risoluzione geometrica	N° di immagini per configurazione spettrale	
				NDVI	RE
		m	m		
Pantano	13/07/2004	1205,0	0,90	17	-
Monte Coppolo	13/07/2004	1242,0	0,93	184	-
Pantano	15/07/2004	1358,0	1,02	122	108
Monte Coppolo	15/07/2004	1242,0	0,93	48	-



comporta una non automatica sovrapposibilità delle relative 4 immagini e la necessità di ricostruire il file multispettrale in modo da ottenerne la sovrapposizione. In assenza di un sistema inerziale a supporto della correzione automatica di assetto è stata messa a punto una procedura di ortocorrezione che, mediante un processo di triangolazione, garantisce la sovrapposibilità delle componenti (immagini) corrette, unitamente alla rimozione delle distorsioni geometriche e all'inquadramento cartografico con la stima dei parametri di assetto e dell'altitudine per ogni immagine [3].

In sostanza, sfruttando i diversi tempi di sincronizzazione ed inclinazione delle camere CCD, le 4 riprese nelle diverse bande sono state impiegate come parti di una copertura stereo, per ognuna delle quali si è proceduto tramite triangolazione a ricavare i parametri di assetto ( $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$ ) al momento della ripresa unitamente all'altezza ( $h$ ) del sensore (figura 4). Nelle triangolazioni effettuate con un numero medio di 7 punti di controllo GCP (Ground Control Point) a terra opportunamente distribuiti (derivati da cartografie e/o misurazioni GPS a terra), si è pervenuti generalmente a risultati soddisfacenti con RMSE (errore quadratico medio sui GCP) mediamente dell'ordine del metro.

Utilizzando un DEM (Digital Elevation Model) ad opportuna scala si è proceduto quindi all'ortorettifica delle componenti prima di assemblarle in un unico file multispettrale a 4 bande georiferito. Al fine di assicurare la compatibilità e sovrapposibilità delle immagini ASPIS ortocorrette con le altre mappe del progetto, è stata adottata la proiezione cartografica UTM (Universale Trasversa di Mercatore) con i relativi parametri (Sferoide: International 1909, Datum: European1950, Zona UTM: 33 Nord).

Nella figura 5, a titolo di esempio sono riportate, a falsi colori, alcune immagini ASPIS del 2004, corrette, in sovrapposizione ad un'immagine pancromatica IKONOS

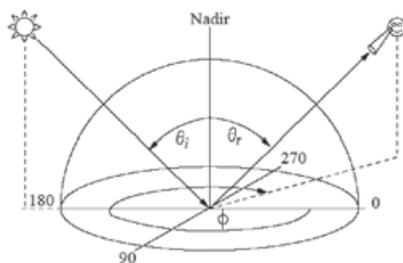
(a tonalità di grigio) dell'area di Pantano, con l'indicazione dei punti di misura a terra di RWC/FMC per frutteti (in arancione) e di LAI per boschivo (in verde).

### Analisi dei dati

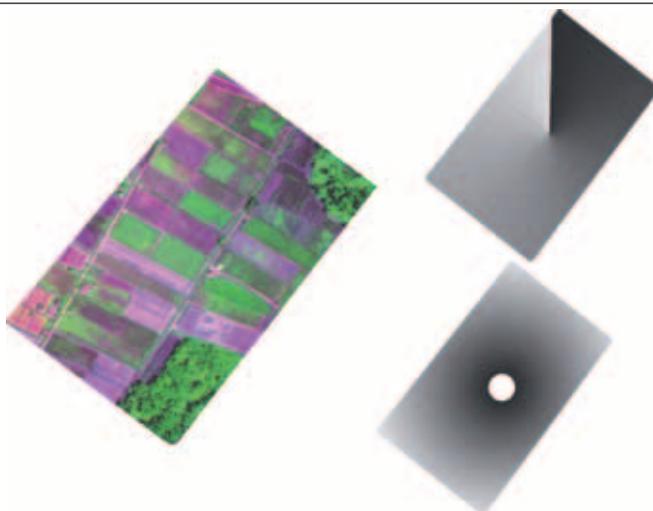
In una prima fase, le misurazioni dei parametri biofisici e le relative firme iperspettrali, rilevate con radiometro portatile ASD, sono state utilizzate per effettuare una valutazione preventiva delle potenzialità di ASPIS. Ciò ha consentito una simulazione "a terra" con la valutazione della sensibilità dei vari canali di acquisizione del sensore ai vari parametri biofisici d'interesse della vegetazione escludendo molti degli effetti di rumore presenti nell'acquisizione aerea effettiva. Dapprima tramite la valutazione del livello di correlazione ( $R^2$ ) tra la riflettanza rilevata a terra tramite il radiometro ASD nelle varie frequenze (in particolare quelle corrispondenti ai canali ASPIS) e le relative misure dei parametri biofisici d'interesse, sono state individuate le zone spettrali maggiormente sensibili (figure 6, 7).

Successivamente, utilizzando le funzioni filtro relative alle bande ASPIS (curve Blue, Green, Red e NIR in figura 1) sono state simulate le effettive risposte spettrali specifiche nelle varie bande del sensore.

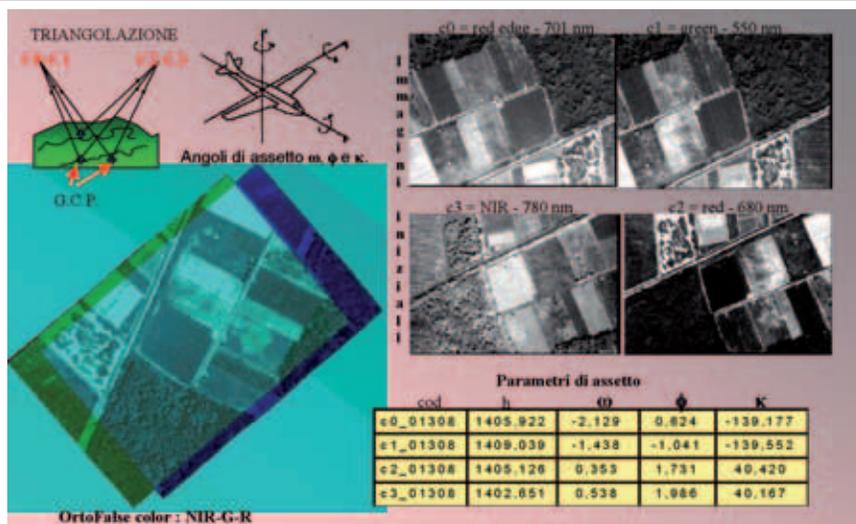
In tal modo, tenendo conto esclusivamente delle caratteristiche spettrali di ASPIS è stata preventivamente evidenziata l'efficacia delle bande del *red edge* e il NIR per la stima del FMC ed RWC, mentre le bande nel visibile (in particolare il Green) si sono dimostrate efficaci per la stima del LAI della vegetazione seminaturale. In tabella 2, oltre alle stime del coefficiente di correlazione ( $R^2$ ) ottenute per i dati ASPIS simulati sono riportati i coefficienti di correlazione relativi alla simulazione dei sensori satellitari impiegati nel progetto in relazione alle loro bande di acquisizione. Tali risultati ottenuti dalla simulazione con dati iperspettrali del radiometro ASD misurati a terra so-



**Figura 2**  
Schema relativo agli effetti BRDF



**Figura 3**  
Immagine ASPIS corretta (sinistra) a falsi colori (Red, NIR, Green), ripresa in data 15-7-2004, dell'area Pantano (con colture e vegetazione boschiva), e relativi parametri angolari di vista (destra) calcolati per tutti i pixel dell'immagine (zenit (0-90°) in basso, ed azimut (0-360°) in alto, visualizzati con differenti sfumature di grigio)



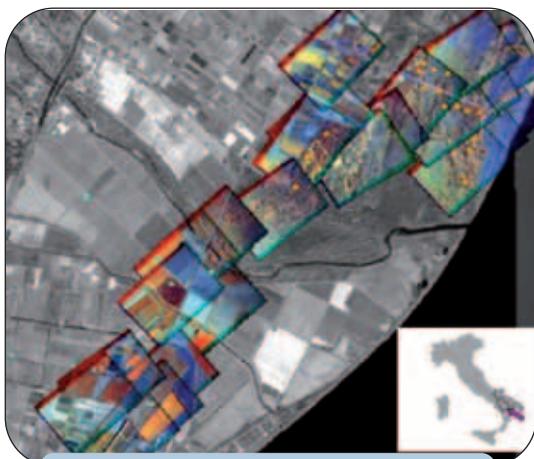
**Figura 4**  
Correzioni geometriche e triangolazione dei dati ASPIS (C0,C1,C2,C3), componenti grezze, Orto-False color immagine multispettrale ortocorretta



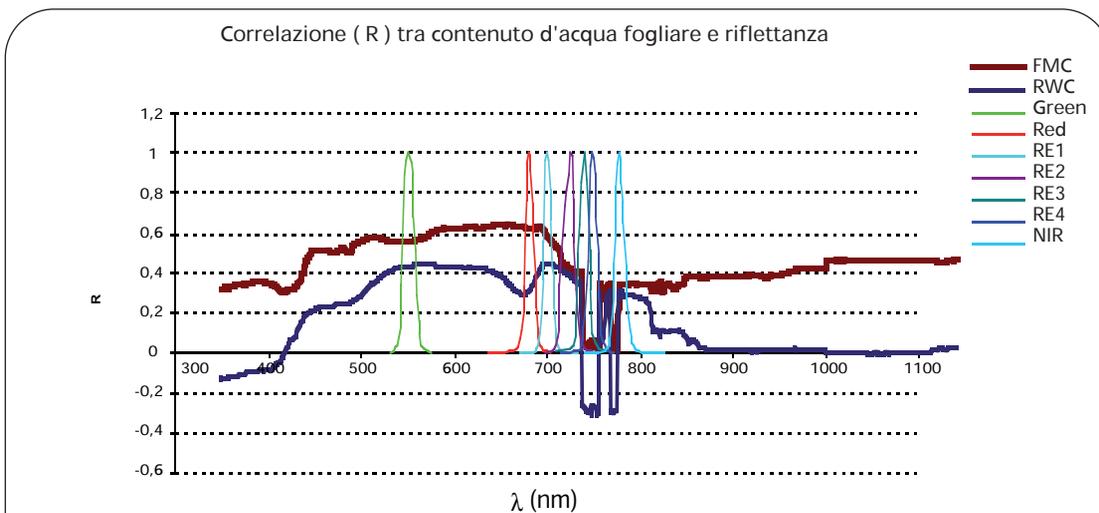
no stati successivamente in gran parte confermati dall'elaborazione delle riprese aeree effettuate durante le campagne a terra. Per l'analisi dei dati acquisiti da ASPIS durante le campagne ed opportunamente preprocessati come descritto precedentemente, sono state estratte dalle immagini le firme spettrali (riflettanze nelle varie bande) in corrispondenza dei punti di misura a terra dei diversi parametri biofisici, ovvero il LAI e gli indici di contenuto idrico fogliare RWC, FMC. Le firme spettrali so-

no state utilizzate per il calcolo di indici spettrali di vegetazione, quali il NDVI=(NIR-red)/(NIR+red) ed altri dalla formulazione simile in cui alla risposta nel rosso è stata sostituita quella nella banda RE1 o Green. È da notare che questi ultimi, nel caso di studio specifico, si sono dimostrati maggiormente efficaci nella stima del LAI. Infine, oltre agli indici spettrali basati sul rapporto di bande, è stato calcolato anche l'indice REIP (Red Edge Inflection Point) basato sull'andamento della derivata della riflettanza (punto di flesso) della vegetazione in zona *red edge* e calcolato dai dati ASPIS, utilizzato il metodo LIM (*Lagrangian Interpolation Method*) [6].

In figura 8 sono riportate, a titolo d'esempio, le immagini corrette (geometricamente e radiometricamente) in falso colore (la vegetazione è nelle tonalità più scure) delle riprese ASPIS di aree agricole a pescheti della costa ionica relative a due giorni diversi, nelle stesse condizioni d'illuminazione. La prima, a sinistra, è stata acquisita il 13-7-2004, mentre la seconda è stata rilevata due giorni dopo, il 15-7-2004, a seguito di vari eventi piovosi sulla zona avvenuti in data 14-7-2004. Dopo la pioggia, con l'aumento di umidità dei terreni, risulta un incremento dell'NDVI dei relativi coltivi dovuto preva-



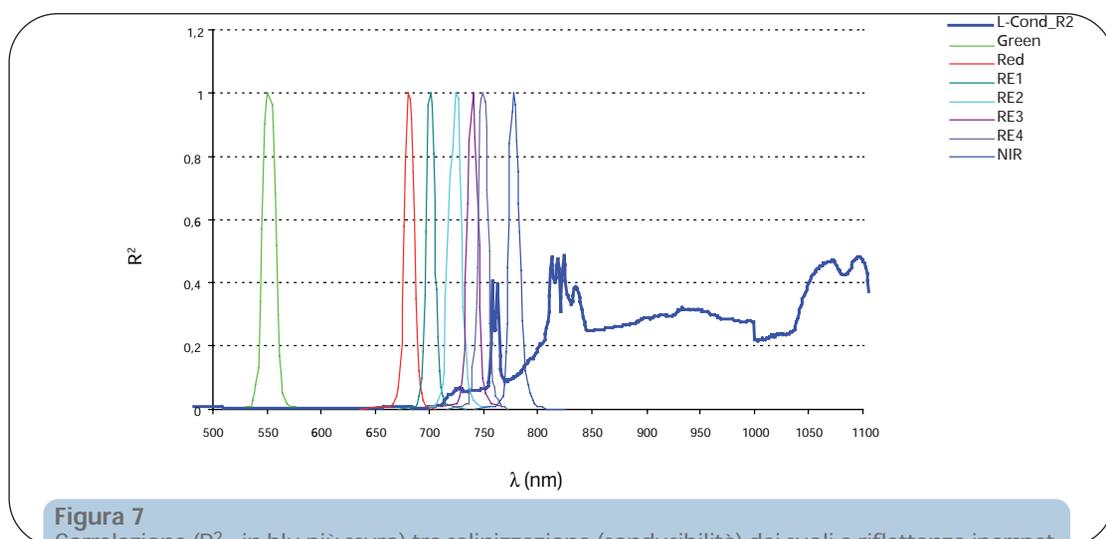
**Figura 5**  
Area Pantano. Immagini ASPIS ortocorrette a falsi colori in sovrapposizione a pancromatica IKONOS e punti di misura a terra relativi alla campagna 2004



**Figura 6**  
Correlazione (R) tra i parametri biofisici del contenuto idrico fogliare (RWC, FMC) di fruttiferi e relativa riflettanza iperspettrale acquisiti nel luglio 2004 in area Pantano. In sovrapposizione le curve di sensibilità dei canali ASPIS

lentemente alla riduzione di riflettanza nel visibile (in particolare nel Red), con l'eccezione di quelli che risultavano sufficientemente irrigate già prima della pioggia. Allo scopo di evidenziare queste caratteristiche nella risposta spettrale, in figura 9 sono riportate le distribuzioni di indice spettrale NDVI prima e dopo la pioggia (prime 2 mappe in alto), una mappa delle differenze di NDVI (figura in basso a sinistra), nonché una mappa dell'indice REIP (in basso a destra). Si nota che per le colture suffi-

cientemente irrigate, riportate nella mappa con tonalità più chiare (ad esempio nel punto C1), le differenze di NDVI si mantengono relativamente basse mentre tendono ad aumentare per quelle con irrigazione inesistente o insufficiente (nelle tonalità più scure, per esempio il punto A1 ricadente in un pescheto) potenzialmente soggette a stress idrico. Tale situazione è confermata anche dalla mappa di REIP, calcolata dalle riprese ASPIS (in configurazione RE) del 13-7-2004, utilizzando un modello ottenuto tramite



**Figura 7**  
Correlazione ( $R^2$  - in blu più scuro) tra salinizzazione (conducibilità) dei suoli e riflettanza iperspettrale di colture di grano relative. Da misure rilevate nell'aprile 2004 nei pressi del lago di Lesina (Puglia). In sovrapposizione le curve di sensibilità dei canali ASPIS

**Tabella 2 - Valori di di correlazione ( $R^2$ ) di vari sensori satellitari e ASPIS (area Pantano, 2004)**

Bande	TM		IKONOS		ASPIS				
	RWC	FMC	RWC	FMC	RWC	FMC			
Blu	TM1		0,864	IK1		0,852	ASP1	0,391	0,608
Verde	TM2	0,405	0,795	IK2	0,435	0,672	ASP2	0,472	0,533
Rosso	TM3	0,286	0,926	IK3	0,264	0,856	ASP3	0,628	0,897
RE1 (rededge)							ASP4	0,332	0,49
RE2 (rededge)							ASP5		
RE3 (rededge)							ASP6	0,348	
RE4 (rededge)							ASP7	0,39	
NIR	TM4			IK4			ASP8	0,276	
SWR1	TM5	0,483	0,632						
SWR2	TM7								



regressione con i valori di RWC misurati a terra (figura 10). In tale modello, in accordo con Eitel J.U.H. et alii [10], il REIP appare correlato negativamente all'RWC ( $R^2=0,57$ ), con significatività statistica maggiore del 95%.

Infine sono mostrati alcuni risultati relativi all'utilizzo di ASPIS per la stima del LAI delle aree a vegetazione naturale ottenuti per il bosco Pantano.

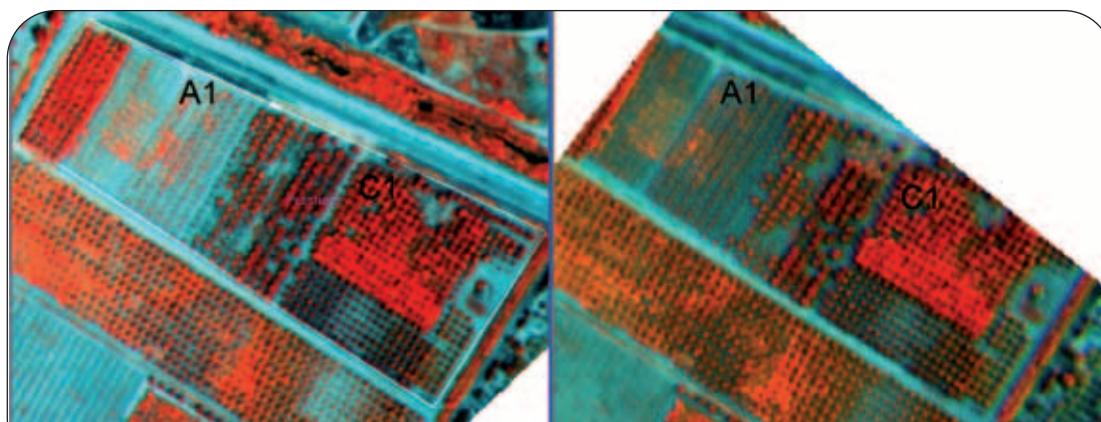
A tale scopo sono stati testati vari modelli statistici regressivi sia multivariati (utilizzando l'insieme delle bande ASPIS), che univariati utilizzando singoli indici spettrali menzionati in precedenza. In particolare in figura 11, a destra, è mostrata la mappa di distribuzione del LAI ottenuta utilizzando un modello lineare basato sull'indice spettrale derivato dai dati ASPIS che, tra i diversi testati, ha mostrato la maggiore efficacia predittiva ( $y=ax+b$ ,  $a=9,815$ ,  $b=-3,908$ ,  $R^2_{adj}=0,000,805$ ,  $p=0,000046$ ). Nella mappa di LAI è visibile anche il valore discontinuo in corrispondenza della tipica vegetazione arbustiva dunale, nei pressi della costa.

Sempre nella figura 11, a sinistra, è riportato invece il mosaico delle immagini utilizzate in falso colore con l'indicazione dei punti di misura a terra impiegati per la calibrazione del modello. Il layer sottostante è costituito da un'immagine pancromatica IKONOS (1 m di risoluzione a terra).

## Conclusioni

I risultati ottenuti, anche grazie all'ausilio di procedure innovative appositamente implementate, hanno permesso di individuare gli intervalli di frequenza e le risoluzioni spettrali più significativi per un monitoraggio efficace del contenuto idrico fogliare su colture agricole a frutteti e del LAI in aree a vegetazione semi-naturale. In particolare, dall'analisi delle firme iperspettrali a terra si è evinto che la rilevazione delle variazioni di riflettanza connesse ai fenomeni d'interesse richiede risoluzioni spettrali dell'ordine di 10-20 nm, specialmente nell'intervallo spettrale del *red edge*. Poiché i sensori diffusamente utilizzati per il telerilevamento satellitare terrestre possono utilizzare generalmente un numero limitato di bande d'acquisizione con ampiezza tipica (risoluzione spettrale) di 50-100 nm e considerando che questo, unitamente alla loro risoluzione radiometrica, rappresenta un notevole fattore limitante rispetto alla loro sensibilità a variazioni dei parametri biofisici considerati, l'utilizzo integrato di un sistema come ASPIS può contribuire a risolvere tali difficoltà connesse ad un monitoraggio estensivo della vegetazione.

Per ciò che attiene alle variazioni di riflettanza legate agli effetti di contenuto idrico fogliare, è stato possibile verificare le



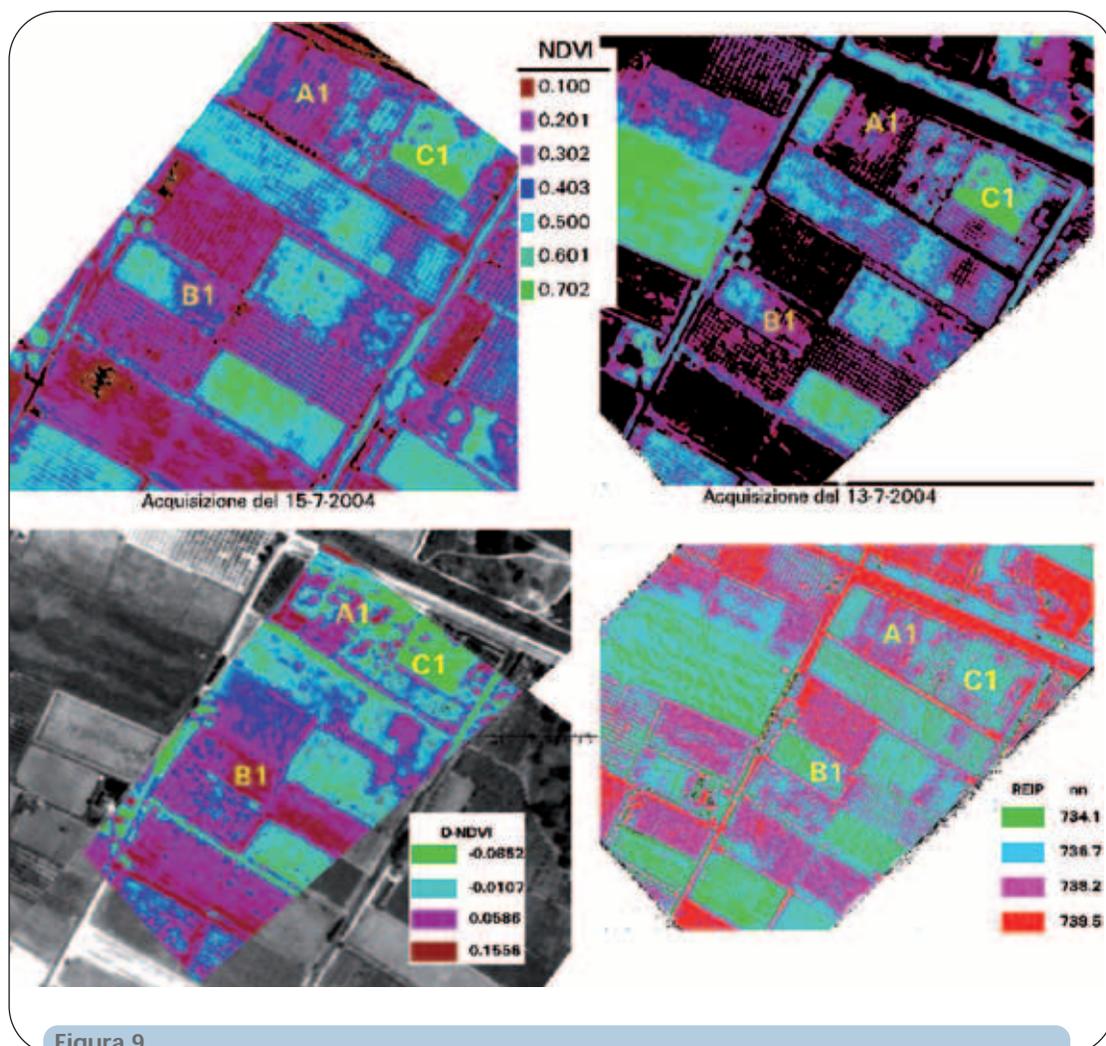
**Figura 8**

Immagini ASPIS in False Color (combinazione NIR, RE1, Red), di aree a frutteti, prima (sinistra) e dopo (destra) precipitazione piovosa. Le aree A1 e C1 si riferiscono a pescheti diversamente irrigati

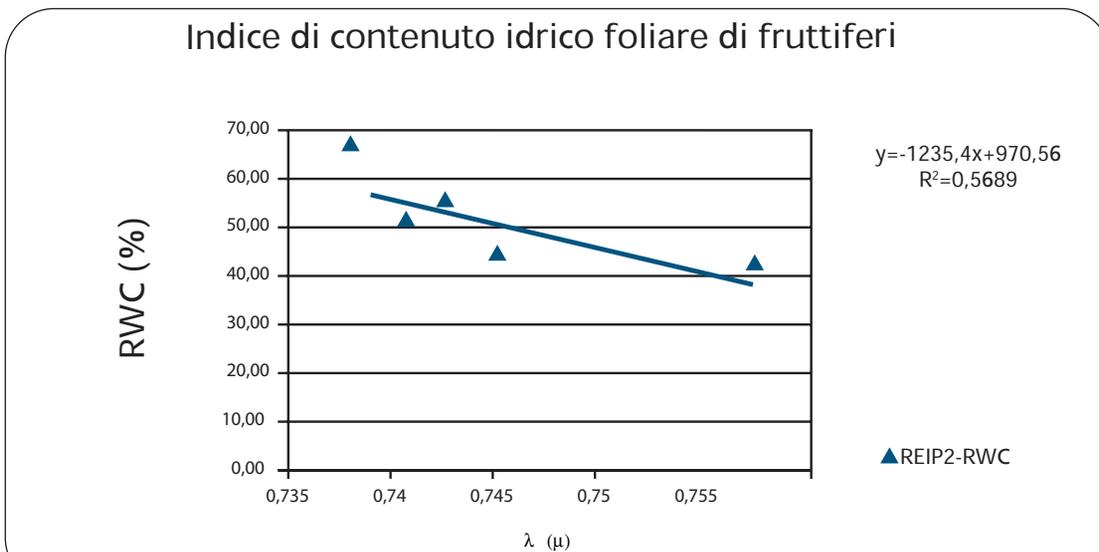


potenzialità del sensore ASPIS grazie anche all'impiego di metodologie originali sviluppate *ad hoc*, come ad esempio quella basata su dati rilevati sulle stesse aree prima e dopo un evento piovoso. Si sottolinea che tali rilievi sono stati agevolati sia dalle caratteristiche di accuratezza e risoluzione della strumentazione sia da quelle di flessibilità ed operatività della piattaforma aerea ultraleggera impiegata. Sono state implementate varie procedure di elaborazione che hanno permesso di sfruttare adeguatamente le riprese ASPIS sia nella configurazione NDVI che in quel-

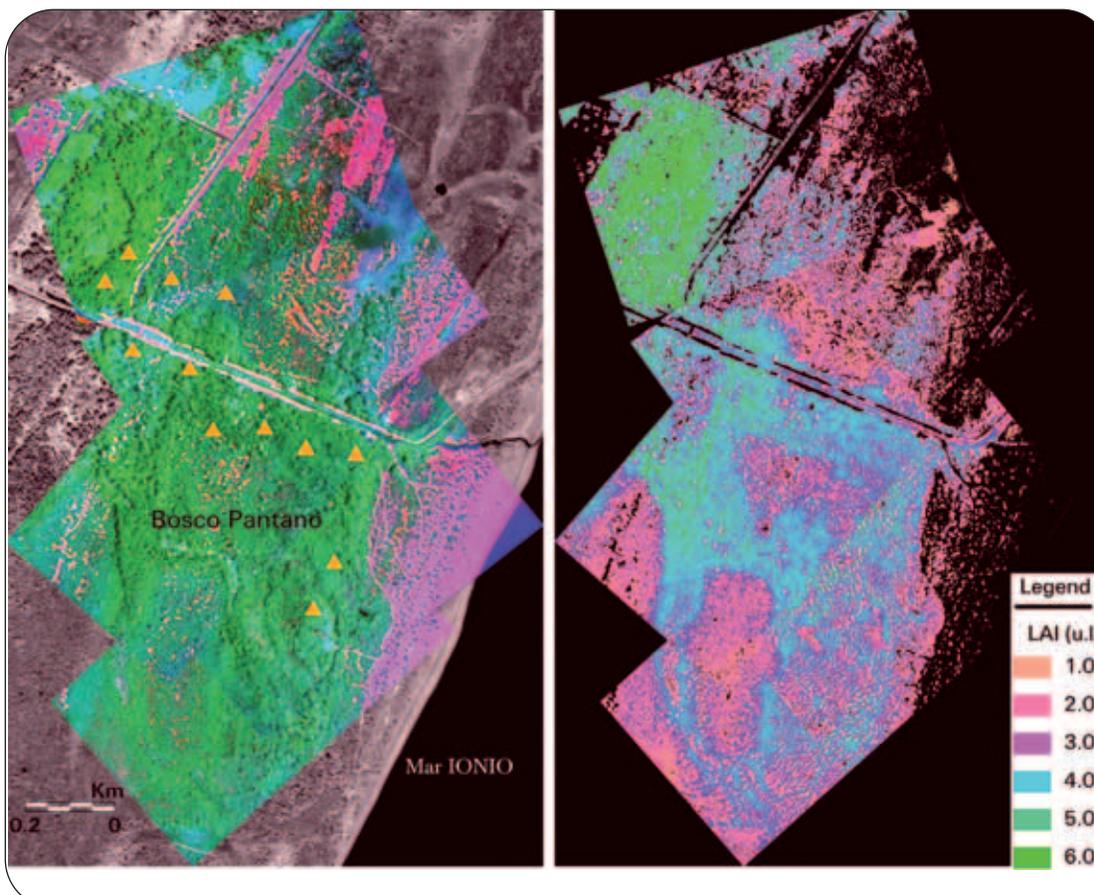
la RE. Oltre all'utilizzo di indici spettrali del tipo più noto, quali i rapporti normalizzati tra bande, sono state sfruttate adeguatamente le acquisizioni nei canali *red edge* per l'elaborazione di mappe di indice REIP. La simulazione di dati telerilevati da sensori remoti, quali Landsat-TM/ETM, IKONOS ed ASPIS (tabella 2), tramite l'utilizzo dei dati iperspettrali di riflettanza rilevati con il radiometro a terra ed integrati sugli intervalli di lunghezza d'onda relativi alle rispettive bande, ha messo in evidenza la maggiore efficienza dei canali di acquisizione ASPIS, soprattutto per l'RWCV. Per



**Figura 9**  
Mappe di NDVI relativo ad acquisizione prima (alto a destra) e dopo la pioggia (alto a sinistra). In basso sono riportate le differenze di NDVI (sinistra) e la mappa di REIP (destra) relativa alla situazione dopo la pioggia (15-7-2004)



**Figura 10**  
Modello regressivo per stima RWC tramite REIP (Red Edge Inflection Point) su frutteti



**Figura 11**  
Mappa del LAI (Leaf Area Index) del bosco Pantano (a destra) ottenuta a partire dai dati ASPIS. A sinistra il mosaico delle riprese ASPIS utilizzate e riportato in falso colore (Red, NIR, Green), con l'indicazione dei punti di calibrazione a terra (triangoli chiari), in sovrapposizione ed un'immagine pancromatica IKONOS dell'area

l'FMC l'efficacia di ASPIS appare maggiore di quella di IKONOS, pur essendo quest'ultimo sensore paragonabile dal punto di vista della risoluzione geometrica a terra, risultando tuttavia minore di quella TM, che comunque presenta una capacità di discriminazione geometrica a terra sensibilmente più bassa (30 m a terra). Dalle simulazioni a "banda stretta" per i vari parametri biofisici di cereali e frutteti è stata rilevata una significativa correlazione in corrispondenza delle varie riflettanze ASPIS, e dei relativi indici, con picchi presenti (figure 5-6) nella zona iniziale del *red edge* (corrispondente alla banda ASPIS RE1).

L'indice REIP si è dimostrato particolarmente efficace nel monitoraggio dello stress idrico su frutteti, mentre per stimare il LAI delle aree a vegetazione naturale sono risultati efficaci gli indici spettrali normalizzati derivati dai canali ASPIS NIR, Green e RE1. In definitiva, le indicazioni generali desunte dai risultati ottenuti sottolineano l'importanza della capacità di poter rilevare oltre che nel visibile e NIR anche nell'infrarosso medio (SWIR) e nel *red edge* ai fini di sviluppare un eventuale sensore satellitare da utilizzare per il monitoraggio dei fenomeni connessi alla desertificazione. L'impiego proficuo di tale sensore, a supporto della gestione agricola (*precision farming*), è però subordinato a caratteristiche di risoluzione spaziale dell'ordine di 1-5 m e spettrale intorno a 10-30 nm con alta sensibilità radiometrica (circa 12-14 bit). In conclusione, da questi risultati preliminari, il sistema ASPIS conferma le sue potenzialità anche per il monitoraggio di alcuni importanti parametri biofisici della vegetazione naturale ed agricola sensibili agli effetti dei fenomeni di desertificazione dovuti all'impatto antropico ed ai cambiamenti climatici. Le procedure di pre-processing sviluppate e qui descritte sono risultate efficaci nel migliorare le capacità predittive dei dati telerilevati da tale sistema, ma richiederebbero un ulteriore sforzo di ottimizzazione

anche in vista di un aggiornamento del sensore verso capacità iperspettrali con l'ampliamento dell'intervallo di acquisizione verso il SWIR (Short Wave Infra Red) dove si collocano le righe di assorbimento spettrale dell'acqua. Per il nuovo sistema si prevede anche un'ottica unica nonché l'integrazione di un apparato inerziale per la correzione automatica degli effetti dell'assetto della piattaforma sulle immagini, modifiche che miglioreranno notevolmente anche la qualità geometrica e di sovrapposizione delle varie componenti spettrali. Dal punto di vista della flessibilità operativa della piattaforma è da sottolineare che essa ha consentito il completamento delle missioni relative al 2004 ed al 2005 ottimizzando complessivamente i tempi e l'impegno di risorse umane ed economiche necessarie ad ottenere i dati telerilevati in sincronia con le campagne di misurazione a terra. Tali dati sono stati utilizzati proficuamente anche a supporto della calibrazione e spazializzazione dei dati satellitari a risoluzione spaziale meno spinta (IKONOS e Landsat). La disponibilità di piattaforme aeree in grado di operare con sensori avanzati come il sistema ASPIS che, all'economia e flessibilità di gestione uniscano anche le capacità di risposta tempestiva rispetto ad eventi che richiedono vincoli temporali stringenti, risulta utile al fine di assicurare un monitoraggio integrato ed efficace in vari settori strategici come quelli della gestione sostenibile delle risorse, degli eventi catastrofici di origine antropica e naturale e del ciclo idrologico. Il loro utilizzo in un sistema integrato globale che miri alla sinergia con i sistemi satellitari operativi che forniscono informazioni a varie scale sulle grandezze d'interesse, si colloca specialmente nel loro valido supporto in zone, come quelle presenti nel bacino del Mediterraneo, caratterizzate da forte impatto antropico, alta eterogeneità degli ecosistemi e dinamica spazio-temporale dei fenomeni di cambiamento rilevante.



## Bibliografia

[1] Giordano L., Borfecchia F., De Cecco L., Trotta C., Iannetta M. (2005) - *A multiple sensors study for vegetation monitoring in Mediterranean areas*. Proceedings of the 1st Conference on Remote Sensing and Geoinformation Processing in the Assessment and Monitoring of Land Degradation and Desertification, September 7th to 9th, Trier (Germany).

[2] Belli C., 2003. - *L' Advanced SPectroscopic Imaging System (ASPIS). Un nuovo sistema digitale di telerilevamento aereo per lo studio delle risorse agricolo - forestali*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Ecologia Forestale XV Ciclo. DISAFRI, Università degli Studi della Tuscia.

[3] Borfecchia F., Marcocchia S., Della Rocca A. B., Farneti A., La Porta L., Giordano L., De Cecco L., Martini L., Belli C. (2005). *Utilizzo del sistema di telerilevamento aereo ASPIS per il monitoraggio della vegetazione in aree sensibili alla desertificazione*. 9a Conferenza Nazionale ASITA - Centro Congressuale Le Ciminiere, Catania 15-18 novembre 2005 - Atti pp. 439-444.

[4] Welles J. M., Campbell G., Blad B. L. (1985) - *Simple equation to approximate the bi-directional reflectance from vegetative canopies and bare soil surfaces*. Applied Optics, 24(3), 383-387.

[5] Vermote E.F, Tanre D., Deuze J.L., Herman M., Morcrette J.J., 1997 - *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An overview*. Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 35 (3): 675-686.

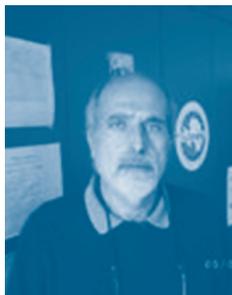
[6] Dawson T.P., Curran P.J. (1998) - *A new technique for interpolating the reflectance red edge position*. International Journal of Remote Sensing, 19(11), 2133-2139.

[7] Rouse. J. W., Haas. R. H., Schell. J. A., Deering. D. W. and Harlan. J. C. (1973). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation*. NASA/GSFC Type III Final Report. Greenbelt. MD.

[8] Horler, D.H.N., Dockray, M., Barber, J., 1983. *The red edge of plant leaf reflectance*. Int. J. Remote Sens. 4, 273-288.

[9] Crippen R. E. (1987) - *The regression intersection method of adjusting image data for band ratioing*. International Journal of Remote Sensing, 8(2), 137-155.

[10] Eitel J.U.H., Gessler P. E., Smith A. M. S., Robberecht R. (2006) - *Suitability of existing and novel spectral indices to remotely detect water stress in Populus spp.* Forest Ecology and Management, 229, 170-182.



borfecchia@casaccia.enea.it



dellarocca@casaccia.enea.it



dececco@casaccia.enea.it



ludovica.giordano@casaccia.enea.it



laporta@casaccia.enea.it



claudia.trotta@casaccia.enea.it



martini@casaccia.enea.it



## La misura e la stima della radiazione solare: l'archivio dell'ENEA e il sito Internet dell'Atlante italiano della radiazione solare

Francesco Spinelli,  
Euro Giovanni Cogliani,  
Augusto Maccari, Mauro Milone

ENEA, Dipartimento Tecnologie per l'Energia,  
le Fonti Rinnovabili e il Risparmio Energetico

*Web e Internet, satelliti meteorologici, strumenti di misura a terra: tecnologie differenti per misurare e stimare in maniera sempre più accurata la radiazione solare che giunge al suolo.*

*L'ENEA ha creato un archivio dati e il sito Internet dell'Atlante italiano della radiazione solare, che può rappresentare un valido aiuto per i tecnici che devono localizzare e progettare impianti di produzione di energia da fonte solare*

## Measurement and estimation of solar radiation

*The Web and the Internet, weather satellites and ground instruments: using multiple technologies, the solar radiation that reaches the earth can be measured and estimated ever more accurately. ENEA has created a database and the website of the Italian Solar Radiation Atlas, a valid aid for engineers who need to site and design power plants that use solar energy*



Prometeo scelse per gli uomini il dono più prezioso – il fuoco – e salì in cielo con una torcia per prenderlo dal Sole: i mitologi greci fanno compiere gesta titaniche ai loro eroi, ma in questo caso l'impresa poteva essere evitata. Il fuoco del Sole giunge regolarmente sulla Terra sotto forma di raggi (elettromagnetici) e l'uomo del Duemila deve applicarsi a compiti diversi ma non meno impegnativi: misurare la radiazione solare, scoprirne natura e fenomenologia, inventare tecnologie per utilizzarla.

La radiazione solare è la fonte principale del "sistema energetico" della Terra (l'altra è costituita dal calore prodotto per decadimento radioattivo all'interno del pianeta) e dunque è alla base di tutti i cicli naturali e le manifestazioni della vita, comprese le molteplici attività antropiche. La conoscenza di come la radiazione viene intercettata – assorbita o deviata – dallo strato atmosferico che avvolge la Terra, della frazione di essa che invece riesce a raggiungere direttamente il suolo e, infine, di quella che vi arriva da tutte le direzioni dopo aver subito uno o più urti con le molecole



dell'atmosfera, sono presupposti sia alla comprensione dei fenomeni naturali legati al clima e alla meteorologia, sia – più utilmente – alla localizzazione e progettazione degli impianti che sfruttano l'energia solare: infatti il ricorso a nuove forme di energie rinnovabili, fra cui quella solare, diventerà in futuro sempre più necessario se si vuol garantire all'umanità disponibilità energetiche adeguate e contemporaneamente scongiurare gli effetti dannosi per l'ambiente conseguenti all'uso su vasta scala dei combustibili fossili.

In ENEA l'attività di raccolta, archiviazione e pubblicazione dei dati di radiazione è iniziata sin dagli anni Novanta del secolo scorso. I metodi di acquisizione adottati sono due: il primo consiste nello stimare il dato radiativo a partire da immagini satellitari di copertura nuvolosa, il secondo nella installazione di centraline di misurazione (acquisizione) a terra, essenzialmente in siti individuati dall'ENEA perché suscettibili di ospitare gli impianti previsti nel suo *Programma Solare Termodinamico*. Sia le stime che le misure di radiazione sono confluite in un consistente archivio utilizzato per studi di caratterizzazione regionale del clima e per calcoli in cui i dati di radiazione sono di input (dimensionamento di impianti ecc.). Recentemente, al precedente lavoro di pubblicazione dei dati (su supporto cartaceo [5], ma anche attraverso il sito Internet dell'*Archivio Climatico ENEA-DBT* [1]) è stato aggiunto un nuovo strumento: la creazione del sito Internet *SolarItaly - Atlante italiano della radiazione solare* [2]. Attualmente il nuovo sito offre due servizi: il calcolo della radiazione al suolo per qualunque località, non solo sul piano orizzontale, ma anche per superfici comunque orientate (si pensi alle facciate vetrate degli edifici, ma anche agli impianti in cui la su-

perficie captante è orientata per massimizzare l'energia raccolta o si muove continuamente per 'inseguire' i raggi del Sole durante il suo percorso diurno), e la stima della quantità di radiazione "attesa" al suolo nel giorno corrente e in quelli successivi, sulla base delle previsioni meteo; mentre nella versione definitiva conterrà anche una sezione archiviale (data-base sulla radiazione solare costituito da mappe e serie storiche di misure prodotte dall'ENEA). In questo articolo è data una breve rassegna dell'attività condotta sinora e vengono descritti i prodotti (archivi, programmi di calcolo) messi a disposizione della comunità scientifica e dei tecnici, gli strumenti (tecnologie, siti Internet) approntati allo scopo e infine le modalità con cui tali prodotti e strumenti possono essere fruiti e utilizzati.

## La radiazione solare

Come conseguenza delle reazioni nucleari che avvengono al suo interno, il Sole irradia isotropicamente nello spazio una radiazione elettromagnetica il cui spettro in lunghezza d'onda corrisponde a quella dell'emissione di un corpo nero avente temperatura esterna pari a 5780 K (gradi Kelvin). La potenza irradiata è enorme, stimabile in poco meno di  $4 \cdot 10^{26}$  W (watt); quella che attraversa una data superficie – per comodità pensiamo momentaneamente ad un pannello piano posizionato al di fuori dell'atmosfera terrestre – dipende dalla sua dimensione (area), dalla distanza dall'astro e infine dall'orientazione rispetto a quest'ultimo. Per una superficie posta alla distanza media Sole-Terra, perpendicolarmente alla direzione di propagazione dei raggi, si ha:  $I_{sc} = 1366.9 \text{ W/m}^2$  (vedi nota<sup>1</sup>).

<sup>1</sup> Tecnicamente la potenza radiante che incide sull'unità di superficie si chiama *irradianza* ed è esprimibile in  $\text{W/m}^2$ . La definizione non richiede che la superficie 'investita' dall'energia trasportata dai raggi sia disposta perpendicolarmente a questi ma, ovviamente, quando ciò accade l'irradianza è massima a parità di tutte le altre condizioni. Nel testo si userà anche *irraggiamento* come sinonimo di irradianza.



La quantità *I<sub>sc</sub>* è detta *costante solare*; per farsi un'idea della sua entità si consideri che una superficie di estensione pari a circa 60 km<sup>2</sup> (vedi nota<sup>2</sup>) riceve l'intera potenza elettrica installata in Italia, che ammonta a poco più di 80.000 MW.

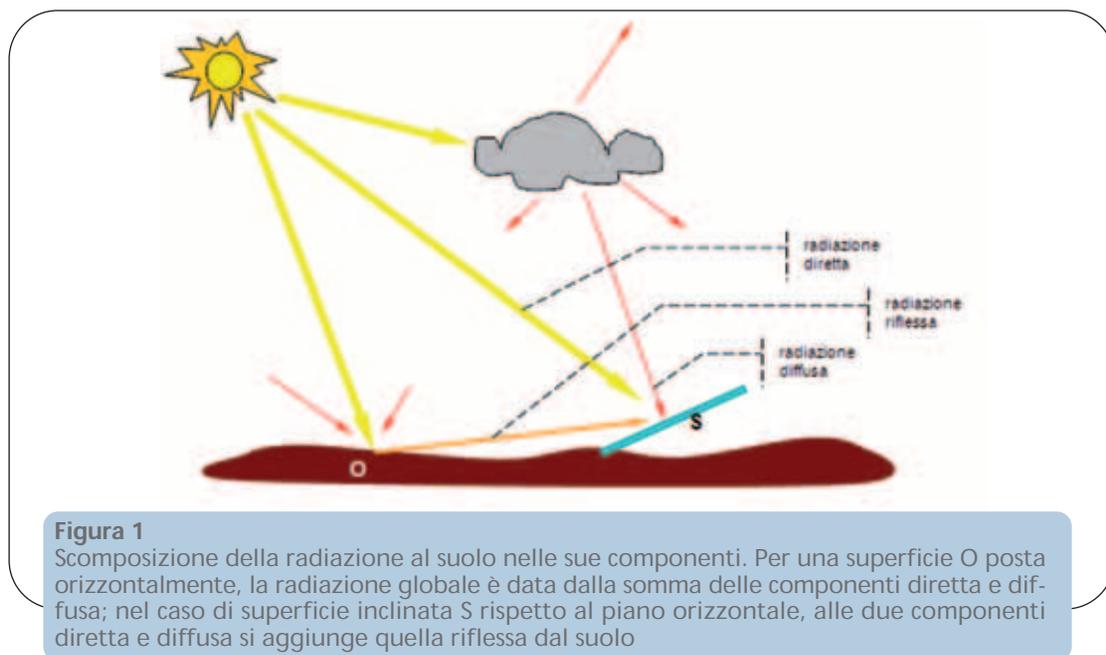
Nelle situazioni comuni i dispositivi che raccolgono l'energia solare sono posti a livello del suolo, sia che si tratti della superficie captante dei pannelli fotovoltaici o termici, sia che ci si riferisca agli specchi riflettenti di un impianto solare a concentrazione. In tutti questi casi l'irradianza disponibile è inferiore a quella presente al di fuori dell'atmosfera in quanto intervengono fattori che globalmente determinano un effetto netto attenuativo (figura 1):

a) nell'attraversare l'atmosfera una frazione dei raggi solari viene assorbita o deviata (*scattering*) a seguito degli urti con le molecole dell'atmosfera stessa (inclusi il vapor acqueo, le nubi e gli aerosol). La *radiazione solare diretta*, ossia quella costituita dai soli raggi che attraversano lo spessore atmosferico senza esserne perturbati, arriva al suolo da una

direzione che, essendo determinata dalla posizione del Sole nella volta celeste, cambia continuamente durante l'intervallo diurno;

b) la frazione della radiazione solare che invece urta le molecole dell'atmosfera, se non assorbita, è deviata in tutte le direzioni: parte si allontana verso lo spazio e parte raggiunge il suolo in un secondo momento. Quest'ultima è detta *radiazione solare diffusa* e, ovviamente, proviene da tutte le direzioni dell'emisfero celeste.

La radiazione solare *globale* che investe una superficie disposta orizzontalmente è data dalla somma delle componenti diretta e diffusa; se invece è inclinata, alle prime due si aggiunge una terza componente rappresentata dalla *radiazione solare riflessa* dal suolo. Per stimarne l'entità, occorre tener conto del fatto che dal punto di vista della riflessività i 'tipi di suolo' si comportano in maniera differente l'uno dall'altro: ad esempio, riflettono di meno le superfici d'acqua, gli asfalti stradali e i boschi



**Figura 1**  
Scomposizione della radiazione al suolo nelle sue componenti. Per una superficie O posta orizzontalmente, la radiazione globale è data dalla somma delle componenti diretta e diffusa; nel caso di superficie inclinata S rispetto al piano orizzontale, alle due componenti diretta e diffusa si aggiunge quella riflessa dal suolo

<sup>2</sup> Ossia un quadrato di 7,7 km di lato, meno di un cinquemillesimo dell'intero territorio italiano.



di conifere in inverno (meno del dieci per cento della radiazione che ricevono), molto di più i manti nevosi e le superfici chiare degli edifici (più del sessanta per cento). Il contributo della radiazione riflessa è comunque molto più piccolo rispetto agli altri due. Ai fini pratici e progettuali, hanno interesse altre grandezze derivate da quelle appena descritte, in particolare le quantità di energia ricevuta in intervalli prestabiliti di tempo: radiazione *oraria*, *giornaliera*, *mensile*, *giornaliera media mensile*, *annua*, medie su più anni<sup>3</sup>. Inoltre per certe applicazioni, come gli impianti solari a concentrazione, un'altra grandezza di estremo interesse è il *profilo giornaliero* (ora per ora) della radiazione diretta. Le prestazioni di tali impianti, che utilizzano il solo irraggiamento diretto, sono infatti influenzate non solo dal valore cumulativo dell'energia incidente sul piano di raccolta, ma anche dalla distribuzione delle intensità, ed anche il dimensionamento dei sistemi di accumulo, necessario per compensare i momenti di disallineamento fra periodi di disponibilità e domanda di energia, è funzione del profilo orario di irraggiamento. Affinché le stime siano corrette, il profilo deve essere realistico e deve essere calcolato per tutti i giorni dell'anno, in modo che si tenga conto della variabilità atmosferica dovuta ai fenomeni nuvolosi che possono accentuare l'attenuazione della radiazione diretta.

### La stima della radiazione solare mediante le immagini satellitari

L'Italia, come la quasi totalità delle nazioni, soffre della carenza di mappe dettagliate di radiazione solare, carenza che diventa ancora più grave se si considera in particolare la componente diretta. Per ovviare a ciò,

in ENEA la costruzione di mappe della radiazione solare è stata promossa a partire dai primi anni Novanta. L'attività è stata favorita dalla disponibilità crescente delle immagini ottenute dai satelliti meteorologici, le quali sono alla base dei modelli di stima della radiazione solare.

I metodi adottati in ENEA si fondano sul trattamento delle immagini satellitari di *copertura nuvolosa*, simili a quelle utilizzate per le previsioni meteorologiche. Tali immagini mostrano la superficie del pianeta così come è vista dal satellite al momento della loro "cattura" e corrispondono a matrici numeriche i cui elementi (pixel) contengono un intero compreso nel *range* 0-255. Più precisamente, i sensori del satellite - puntato verso il pianeta - registrano punto per punto (pixel per pixel) l'intensità del raggio solare che viene riflesso dal pianeta e dunque forniscono una misura del coefficiente di riflessione (*albedo*) della superficie riflettente, che può essere uno strato di nubi, in caso di cielo coperto, oppure direttamente il suolo terrestre quando sussistono condizioni di cielo sereno (con quest'ultima affermazione si sta trascurando, in realtà, l'influenza dello strato atmosferico "sereno" attraversato dai raggi nei due percorsi diretto e riflesso). Nella restituzione grafica (su schermo o a stampa), in cui i valori da 0 a 255 sono resi mediante una scala di grigi, i valori più bassi, rappresentati con grigi tendenti al nero, corrispondono all'assenza di nubi, mentre i valori all'altro estremo della scala, contrassegnati da un grigio tendente al bianco, corrispondono alla presenza di nubi, tanto più spesse o numerose quanto più elevati sono i valori stessi (figura 2, immagine di sinistra). Gli algoritmi messi a punto in ENEA, basati su opportuni modelli di comportamen-

<sup>3</sup> *Radiazione oraria* è espressione consolidata per la quantità di energia radiante (solare) che incide sull'unità di superficie in un'ora (altri preferiscono: *esposizione radiante oraria*); per definizione, è uguale all'integrale dell'irradianza sull'intervallo di un'ora. Lo stesso vale per le radiazioni giornaliere, annua ecc. Tutte queste quantità sono dimensionalmente equivalenti ad un'energia su superficie e pertanto si esprimono indifferentemente in megajoule al metro quadrato (MJ/m<sup>2</sup>) o chilowattora al metro quadrato (kWh/m<sup>2</sup>). 1 kWh/m<sup>2</sup> vale 3,6 MJ/m<sup>2</sup>.

to dell'atmosfera, consentono di dedurre il dato di radiazione a partire da quello della copertura nuvolosa. Applicando tale procedura a ciascun pixel dell'immagine satellitare, si otterrà una nuova mappa di pari dimensioni (righe x colonne) che rappresenterà la grandezza calcolata (*stimata*), ossia la radiazione globale o diretta, riferita all'intervallo orario o un altro di durata differente. Per quanto riguarda i modelli per ricavare il dato di radiazione da quello di copertura nuvolosa, in ENEA ne sono disponibili due, *Heliosat* e il più recente *Solarmet*, entrambi descritti nel seguito con più dettaglio.

A partire da un congruo numero di mappe di radiazione oraria (calcolata indifferentemente con uno o l'altro dei due modelli), sarà possibile ricostruire l'intero profilo giornaliero della radiazione giunta al suolo e quindi stimare la radiazione (globale o diretta) per l'intero giorno, così pure derivare tutte le altre grandezze di interesse: la radiazione globale mensile o, dividendo per il numero di giorni, quella globale giornaliera media mensile, la radiazione annua e, con i dati disponibili per più anni, le mappe di radiazioni *anni-tipo*, *mesi-tipo* ecc., oppure i profili annuali medi (giorno x giorno) utili per caratterizzare una data località o l'intero territo-

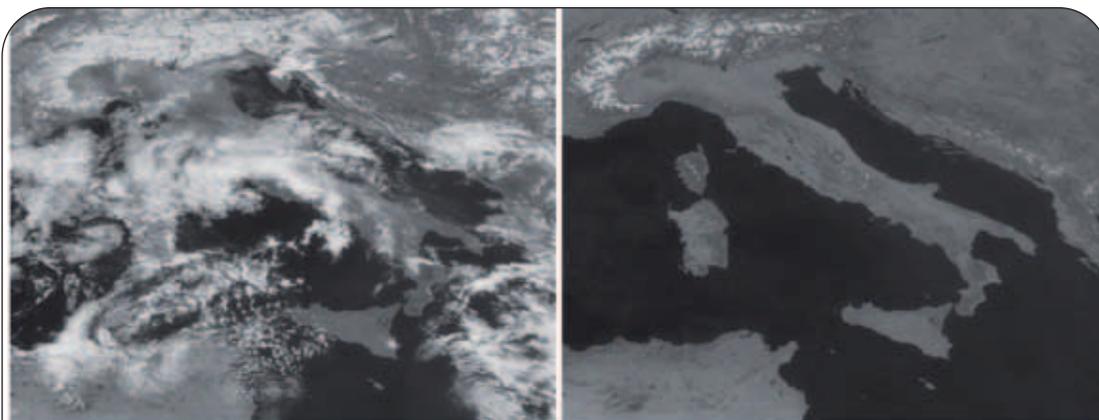
rio rappresentato in mappa. Infine, ricorrendo alle leggi statistiche attestate in letteratura, si risale alle singole componenti della radiazione al suolo su piano orizzontale (ossia diffusa e diretta, se quest'ultima non è già fornita dall'algoritmo) e, sulla base di considerazioni geometriche, si possono riportare i valori su superfici comunque inclinate e orientate.

Affinché possano essere utilizzate per i calcoli e non solo per la visualizzazione grafica, la quale permette solo valutazioni per lo più qualitative, è essenziale che le mappe siano *georeferenziate*, ovvero si conosca il legame biunivoco fra coordinate geografiche di una generica località e posizione (riga e colonna) del pixel corrispondente in mappa<sup>4</sup>. È intuibile il vantaggio della disponibilità di mappe rispetto alle misurazioni a terra: per motivi pratici queste ultime possono effettuarsi in un numero necessariamente limitato di stazioni mentre le prime – se correttamente georeferenziate – permettono di estrarne i dati virtualmente per qualunque località della superficie terrestre rappresentata.

#### *Il modello 'Heliosat'.*

#### *L'archivio storico 1994-99*

Il modello di calcolo adottato, denominato *Heliosat*, è stato sviluppato in Francia



**Figura 2**  
Immagine satellitare di copertura nuvolosa e mappa dell'albedo di riferimento (o del suolo). Le due immagini sono dello stesso periodo; quella di sinistra è stata registrata dal satellite meteorologico in una giornata particolarmente nuvolosa e la regione italiana si intravede parzialmente sotto la coltre delle nubi



da Cano ed al. [3] e quindi adattato alla situazione italiana dall'ENEA [4] [5]. Poiché in assenza di nubi (ossia per condizioni di *cielo sereno*) il comportamento dell'atmosfera ai fini dell'attenuazione dei raggi solari che l'attraversano è ben caratterizzato, la variabilità della radiazione che giunge al suolo – una volta che si è tenuto in debito conto della posizione relativa fra Sole e Terra nei diversi periodi dell'anno e nei diversi momenti del giorno – è attribuibile in prima approssimazione alla minore o maggiore quantità di nubi presenti a causa delle condizioni meteorologiche del momento. In base a questa supposizione l'algoritmo richiede che venga calcolato un opportuno *indice di copertura nuvolosa* che si ottiene confrontando l'immagine 'attuale' del pianeta visto dal satellite, con una sua rappresentazione riferita a condizioni di cielo sereno (*albedo di riferimento*, figura 2, immagine di destra); tale indice, correlato statisticamente con il *coefficiente di trasmissione* dei raggi solari attraverso l'atmosfera, permette di *stimare* la quantità di radiazione che giunge al suolo. Le misure a terra necessarie per calibrare i parametri della correlazione fra coefficiente di trasmissione e indice di copertura nuvolosa sono state fornite dall'Aeronautica Militare Italiana (dall'allora Servizio Meteorologico) e dal Ministero per le Politiche Agricole e Forestali, che gestisce la Rete Agrometeorologica Nazionale (RAN). La regressione ha riguardato più località, più momenti della giornata, più periodi dell'anno.

Il sistema di calcolo ha utilizzato le immagini di copertura nuvolosa acquisite nello spettro visibile della radiazione elettromagnetica dal satellite *Meteosat* dell'*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites* (EUMETSAT), con

sede a Darmstadt (Germania). La ricezione in tempo reale delle immagini trasmesse dall'ente europeo è stata resa possibile in ENEA attivando un apposito sistema di ricezione composto da un'antenna parabolica con convertitore di frequenza, un ricevitore VHF e un convertitore A/D. Il sistema di ricezione è stato attivato nel 1993 e dismesso a maggio del 2001. Il dettaglio spaziale delle informazioni contenute nelle immagini dipende dalla superficie rappresentata dal singolo pixel che, per le nostre latitudini, corrisponde a quadratini di circa 2,5 km di lato: in questo modo si ottiene una "mappatura" abbastanza dettagliata dell'Italia e informazioni per qualsivoglia località. Le immagini sono state ricevute con frequenza oraria e tutto il calcolo per la stima della radiazione globale oraria al suolo è stato fatto *on-line* fra due ricezioni consecutive. In questo modo è stato possibile archiviare anche l'immagine della radiazione giornaliera alla fine di ogni giorno e, per ogni mese, quella giornaliera media mensile.

L'archivio prodotto con il sistema Heliosat on-line è costituito dalle mappe [immagini] della *radiazione globale giornaliera media mensile su piano orizzontale*, dal 1994 al 1999 (72 mappe mensili). Dalle mappe georeferenziate sono stati estratti i dati mensili per 1614 località italiane selezionate in modo da includere tutti i Comuni italiani con più di 10.000 abitanti e comunque almeno uno, purché con popolazione maggiore di 5000 abitanti, in ogni porzione di territorio di 10x10 km<sup>2</sup>. Sia le mappe sia le tabelle sono state pubblicate su supporto cartaceo [5] e sono anche liberamente 'scaricabili' collegandosi al sito Internet dell'*Archivio Climatico ENEA-DBT* [1].

I dati estratti dalle mappe archiviate sono

4 La georeferenziazione, ossia la legge di trasformazione delle coordinate, determina il modo in cui la superficie terrestre – che è curva e non è sviluppabile in piano – viene deformata per poterla rappresentare sulla superficie piana della carta geografica. Oltre alla *proiezione*, una legge di trasformazione definisce automaticamente anche la *scala della rappresentazione*.

stati utilizzati per studi e analisi geostatistiche, ad esempio nella caratterizzazione tipologica e regionale del clima italiano, e trovano anche applicazione nel settore civile, per la progettazione e dimensionamento degli edifici dal punto di vista termico e del risparmio energetico; inoltre le Amministrazioni Regionali e Locali si sono avvalse dei dati dell'Archivio Climatico ai fini della loro pianificazione energetica (formulazione di criteri per la ripartizione di fondi) e li hanno prescritti per il calcolo degli impianti solari e fotovoltaici ammissibili ai finanziamenti agevolati. Infine, l'archivio è utilizzato per fornire i dati di input ai calcoli on-line offerti nel sito Internet *SolarItaly - Atlante italiano della radiazione solare* (vedi oltre), sviluppato nell'ambito del *Progetto Solare Termodinamico* dell'ENEA.

#### Il modello 'Solarmet'

Tutti i modelli sviluppati per stimare la radiazione solare dalle immagini da satellite sono riconducibili a due distinte categorie: quelli "statistici" e quelli "fisici".

Il metodo *Heliosat* descritto in precedenza rappresenta un esempio di modello statistico, in quanto la correlazione fra il coefficiente di trasmissione atmosferica e l'indice di copertura nuvolosa ricavato dalle mappe satellitari è stabilita in base a una regressione statistica con le misure di radiazione effettuate al suolo.

Negli ultimi anni invece è stato sviluppato in ENEA un modello fisico, *Solarmet* [6], che al pari di *Heliosat* utilizza come dato di partenza le mappe satellitari di copertura nuvolosa ma nel quale, a differenza di *Heliosat*, la trasmissività atmosferica, il coefficiente di riflessione e altri parametri essenziali sono determinati mediante un modello di trasferimento radiativo dell'atmosfera (il modello SBDART) sviluppato presso l'Università della California [7]. *Solarmet* fonda le proprie radici su di un modello elaborato da Marullo et al. [8] che ri-

considera un precedente modello proposto da Gautier et al. [9].

In *Solarmet* le differenti condizioni atmosferiche rientrano in due categorie: situazione di cielo sereno e moderata presenza di aerosol, oppure situazione di cielo nuvoloso e/o presenza sensibile di aerosol; nel secondo caso, gli effetti degli aerosol atmosferici e delle nubi sono considerati in maniera semplice ma efficace, assumendo la presenza, in seno all'atmosfera, di uno strato fittizio completamente riflettente.

I risultati ottenuti con il modello *Solarmet* sono stati confrontati con i valori misurati presso tre località italiane della rete attinometrica SOLTERM (Casaccia, Montalto di Castro e Specchia, vedi oltre). Il confronto è avvenuto con i dati dell'anno 2002. La differenza percentuale tra misure e dati calcolati mediante il modello, sia per la radiazione diretta che per la globale è minore del 6% su base mensile. Su base annua l'MBE% varia dal 2% al 3% sia considerando la radiazione globale che la diretta. Per quanto riguarda la radiazione globale, è stato effettuato un ulteriore confronto tra i dati ottenuti col metodo *Solarmet* e quelli misurati, relativamente a 29 stazioni dell'Aeronautica Militare Italiana e 22 stazioni della Rete Agrometeorologica Nazionale. La differenza percentuale annuale media tra i dati stimati da satellite mediante *Solarmet* e le misure è 7,6%.

Anche le mappe ottenute con *Solarmet* per tutto il territorio nazionale, utilizzando le stesse immagini satellitari, hanno una risoluzione spaziale di circa 2,5 km, e possono essere calcolate per rappresentare:

- la radiazione media oraria globale su superficie orizzontale e diretta normale;
- la radiazione media mensile giornaliera globale su superficie orizzontale e diretta normale.

Nella figura 3 è mostrata come esempio una mappa di radiazione giornaliera media mensile. Tutte le mappe sono gene-



rate mediante *Solarmet* a partire dalle immagini primarie del *Meteosat*.

Il metodo *Solarmet* è stato testato con le immagini 'primarie' di copertura nuvolosa che EUMETSAT invia direttamente all'ENEA (vedi oltre), nelle quali il 'ritaglio' che rappresenta l'Italia è composto da 421 righe per 541 colonne. Esso sarà adottato nell'aggiornamento e ampliamento dell'archivio ENEA delle mappe di radiazione, sia globale che diretta, con intervalli a partire da quello orario; inoltre, dall'anno 2006 in poi il calcolo sarà possibile con le mappe primarie di nuova generazione (vedi oltre).

### Il nuovo archivio ENEA delle mappe della radiazione solare

L'intero data-base delle immagini di copertura nuvolosa è stato ricostruito grazie a un accordo ENEA-EUMETSAT, in virtù del quale l'ente europeo ha fornito all'ENEA tutte quelle relative agli anni passati, a partire dal 1996, e fornisce tuttora quelle che rileva giornalmente. Si tratta di immagini 'primarie', qualitativamente migliori e con una risoluzione temporale più spinta: infatti fino al 2005 si dispone di una ogni mezzora mentre a partire dal 2006 addirittura una ogni 15 minuti; nel frattempo anche la risoluzione spaziale è

aumentata e con le immagini attuali si arriva a rappresentare con un pixel un'area pari a poco più di 1 km<sup>2</sup>.

È in corso l'aggiornamento dell'intero archivio delle mappe; al suo completamento, conterrà le mappe di radiazione al suolo:

- a) globale, su piano orizzontale;
  - b) diffusa, su piano orizzontale;
  - c) diretta sul piano *normale* ai raggi (*Direct Normal Irradiation, DNI*);
- relativa agli intervalli:

- a) orari;
  - b) giornalieri;
  - c) mensili (o, equivalentemente, giornalieri medi mensili);
  - d) annui;
- inoltre:
- a) con riferimento a singole ore, giorni, mesi e anni;
  - b) come medie pluriennali, che arrivino fino agli anni più recenti (2007).

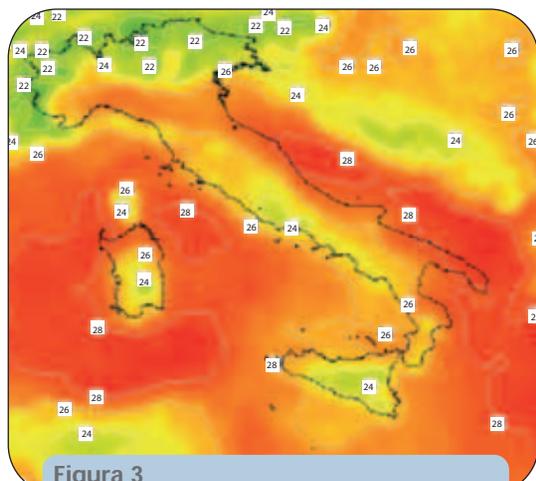
Infine, con riguardo al formato di memorizzazione, saranno adottati:

- a) un formato binario per l'effettuazione dei calcoli, in quanto il più adatto sia per la velocità di esecuzione che per il minor spazio utilizzato per la memorizzazione;
- b) un formato grafico fra i più diffusi in ambito informatico, per la restituzione a schermo o su altro dispositivo di output (stampa ecc.);
- c) un formato che si presti ad essere importato agevolmente nei programmi di elaborazione e analisi dei dati 2D (matrici e tabelle).

L'archivio si avvarrà di strumenti per la 'navigazione' e la ricerca delle mappe memorizzate e disponibili, per la visualizzazione delle stesse e, infine, per l'estrazione dei dati.

### La rete attinometrica ENEA

Dal 2000 l'ENEA ha intrapreso un'approfondita attività di ricerca e sviluppo sulle tecnologie solari a concentrazione per la captazione e l'accumulo di calore



**Figura 3**  
Mappa di radiazione giornaliera media mensile diretta normale ed isolinee. I valori sono ottenuti con il modello *Solarmet*. Mese di giugno 1996. Unità di misura: MJ/m<sup>2</sup>



ad alta temperatura finalizzate alla produzione di energia elettrica mediante cicli termodinamici e alla produzione di idrogeno attraverso la decomposizione della molecola d'acqua.

Contrariamente a quanto succede per le misure di irraggiamento globale sul piano orizzontale, molto scarsa è la disponibilità, sia in termini di numero di località che di periodi di acquisizione, di dati con intervalli almeno orari di radiazione diretta. Come già detto in precedenza, tale componente è l'unica che ha le caratteristiche di collimazione che ne consentono l'uso mediante sistemi a concentrazione. Pertanto lo studio dettagliato di impianti solari a concentrazione non può prescindere dalla conoscenza di questo parametro. Oltre ad essere fondamentali per il calcolo dell'energia che un dato impianto può produrre, gli andamenti orari permettono inoltre di identificare eventuali criticità sul sistema di controllo e regolazione e sullo stress termomeccanico al quale sono sottoposti i componenti impiegati. Infine la conoscenza dei profili di irraggiamento diretto orario permette il corretto dimensionamento del sistema di accumulo in base a considerazioni tecnico-economiche.

Per colmare questa lacuna informativa, a

partire dal 2001, l'ENEA ha installato sul territorio italiano alcune stazioni per la misura della radiazione diretta. Attualmente le stazioni funzionanti che costituiscono la *Rete attinometrica Solterm* dell'ENEA sono cinque, collocate nei siti dove era stata ipotizzata la realizzazione di impianti solari termodinamici (Specchia, Montalto di Castro e Priolo Gargallo) o all'interno di Centri ENEA (Casaccia e Trisaia), tabella 1.

Per ognuna delle grandezze acquisite viene memorizzato il valore medio e lo scarto quadratico delle letture effettuate nei 5 minuti precedenti la registrazione.

I dati acquisiti dalla rete alimentano un data-base, per mezzo del quale è possibile effettuare sintesi e statistiche (dati orari, giornalieri, medi mensili ecc.); inoltre, gli stessi dati vengono utilizzati per calibrare i parametri che intervengono nei modelli di stima della radiazione a partire dai dati satellitari.

Tutte le stazioni installate consentono la misura delle tre grandezze fondamentali ai fini della caratterizzazione attinometrica: la radiazione *globale* sul piano orizzontale, la radiazione *diffusa* sul piano orizzontale e la radiazione *diretta* sul piano normale ai raggi del sole. I tre dati sono correlati tra loro tramite una relazio-

**Tabella 1 - Le stazioni della Rete attinometrica ENEA-SOLTERM**

Denominazione	Prov.	Coordinate		Inizio funzionamento	Grandezze acquisite
		Latitudine (Nord)	Longitudine (Est Greenwich)		
Casaccia	RM	42°03'	12°18'	novembre-01	radiazione, temperatura, vento
Trisaia	MT	40°10'	16°39'	febbraio-02	radiazione
Montalto di Castro	VT	42°22'	11°31'	febbraio-02	radiazione, temperatura, vento, umidità
Specchia	LE	39°57'	18°16'	maggio-02	radiazione, temperatura, vento
Priolo Gargallo	SR	37°08'	15°13'	luglio-03	radiazione



ne, per cui anche in caso di errore su una delle tre grandezze, questa può essere calcolata utilizzando le misure corrette delle altre due.

L'elemento più critico per la misura della radiazione solare diretta è l'inseguitore solare (*solar tracker*- figura 4). Infatti esso è un dispositivo mobile che assolve al duplice compito di schermare, mediante una sfera metallica nera opportunamente orientata, il sensore di radiazione diffusa sul piano orizzontale e di comandare il puntamento del pireliometro, strumento per la misura della radiazione diretta, verso il disco solare. Pertanto all'inseguitore è richiesta una notevole precisione e un'estrema affidabilità, per limitare al minimo i periodi di non allineamento, nei quali tutte le grandezze misurate sarebbero falsate. Il sistema si orienta sul disco solare durante il suo percorso, giornaliero e stagionale, sulla volta celeste, grazie al calcolo automatico della posizione del Sole a partire dall'ora, dal giorno e dalle coordinate del sito. Tale calcolo permette il puntamento corretto anche in presenza di nubi, mentre piccoli errori vengono compensati da un sistema di controreazione, basato su fotocellule, che si attiva quando la radiazione diretta è più intensa.



**Figura 4**  
Rete attinometrica ENEA-Solterm: stazione di acquisizione di Specchia (Lecce)

La stazione è dotata di un sistema automatico di acquisizione dati che memorizza il valor medio e gli scarti quadratici medi di ogni grandezza a partire dai dati misurati nei 5 minuti precedenti. Tutti i dati sono registrati su di un modulo di memoria interno in grado di contenere i dati acquisiti per un intervallo di alcuni mesi. A intervalli regolari (per lo più settimanali) i dati vengono trasferiti e, dopo il controllo della loro congruità, memorizzati in via definitiva nel data-base per le successive elaborazioni. Il trasferimento avviene utilizzando sistemi di trasmissione dati via GSM.

I dati archiviati vengono elaborati e sintetizzati per ottenere una serie di informazioni che ne rendano più agevole l'utilizzo. Ad esempio, per studiare l'idoneità dei siti ad ospitare gli impianti solari a concentrazione, sono utili i grafici della giornata limite, dello "spettro" delle intensità e, infine, delle durate medie di periodi con valore sopra soglia: quest'ultimo (figura 5) mostra il numero atteso delle ore per cui il valore di radiazione è al di sopra di una soglia prefissata. Il funzionamento di un impianto solare termodinamico può essere scomposto in varie fasi operative in funzione della radiazione disponibile: conoscere dunque dettagliatamente le percentuali di ore con radiazione al di sopra di un certo valore è indispensabile per una corretta predizione delle prestazioni complessive.

### La previsione della radiazione solare diretta

Nell'ambito del *Progetto Solare Termodinamico* dell'ENEA è stato messo a punto un sistema che consente di effettuare previsioni di radiazione solare diretta. Tale studio nasce dalla necessità della conoscenza in anticipo dell'energia solare che sarà disponibile nel breve periodo (oggi, domani e dopodomani) al fine di garanti-



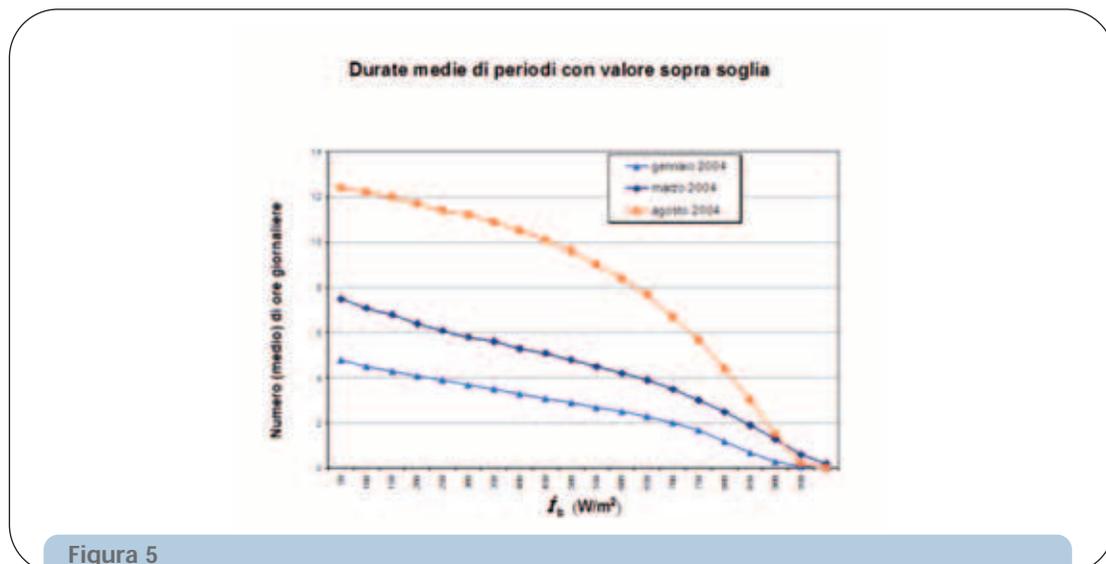
re una corretta gestione degli impianti solari a concentrazione per la produzione di energia elettrica.

L'energia solare è caratterizzata da un'aleatorietà intrinseca e, oltre ad avere interruzioni dovute all'alternanza giorno-notte e a risentire del ciclo stagionale che ne fa variare la disponibilità giornaliera nel corso dell'anno, risente delle condizioni meteorologiche contingenti. Possono verificarsi situazioni nelle quali l'impianto solare è interessato dal passaggio occasionale di nubi che coprono tutto o in parte il sito in giornate altrimenti soleggiate, oppure possono verificarsi situazioni con giorni di mal tempo prolungato durante i quali l'impianto non riceve per lungo tempo energia solare.

Per ovviare a queste situazioni, la tecnologia ENEA prevede l'adozione di un sistema di accumulo termico di grandi dimensioni atto a compensare queste variazioni e assicurare la regolarità di funzionamento all'intero impianto. Per programmare la produzione di energia elettrica e la gestione dell'energia accumulata, è di fondamentale importanza la stima della produttività dell'impianto nei giorni successivi e quindi della radiazione solare prevista.

Per effettuare le previsioni il sistema si avvale di siti Internet selezionati appositamente, specializzati nella fornitura di previsioni meteorologiche. Questi devono infatti essere affidabili sia sotto il profilo della regolarità di funzionamento che sotto quello dell'attendibilità delle previsioni meteorologiche che forniscono. Attualmente il sistema sviluppato effettua quotidianamente previsioni di radiazione diretta relativamente a due località particolarmente interessanti: Casaccia (Roma) e Priolo Gargallo (Siracusa). La prima è sede dell'impianto PCS (*Prova Collettori Solari*) dell'ENEA e la seconda è il luogo prescelto per la realizzazione della prima centrale solare industriale che sarà realizzata in collaborazione tra l'ENEA e l'ENEL (progetto *Archimede*).

Lo sviluppo delle previsioni per questi due luoghi ha richiesto la selezione anche di un certo numero di località attorno ad essi, a distanza compresa nel raggio di 30km, che presentano caratteristiche meteorologiche omogenee, ciò al fine di aumentare la statistica di dati disponibili. Le previsioni reperite in Internet sono state ripartite in tre classi, in linea con la suddivisione che viene generalmente impie-



**Figura 5**  
Durate medie di periodi con valore sopra soglia, dell'irraggiamento diretto normale. Dati della rete attinometrica ENEA-SOLTERM, stazione di Priolo Gargallo (Siracusa). Per ciascun dato rappresentato in figura, l'ordinata corrisponde alla durata (in termini di ore giornaliere) in cui l'irraggiamento diretto normale ( $i_b$ ) si è mantenuto al di sopra del valore riportato in ascissa.



gata studiando la radiazione solare diretta associata alla copertura nuvolosa:

a) *cielo sereno*, quando la radiazione diretta misurata al suolo è maggiore del 60% dell'extra-atmosferica;

b) *nuvolosità media*, quando la radiazione diretta misurata al suolo è compresa tra il 30% e il 60%;

c) *nuvolosità intensa*, quando la radiazione diretta misurata al suolo è inferiore al 30%.

Per ottenere le previsioni di radiazione solare diretta, sono stati successivamente incrociati i dati di previsione di copertura nuvolosa con quelli di radiazione solare diretta misurati presso le stazioni Cascaccia e Priolo Gargallo della rete attinometrica ENEA-Solterm.

Il confronto tra i dati di misure al suolo e di previsioni su scala temporale massima di tre giorni, mostra un buon accordo nel 99% dei casi.

La conoscenza in anticipo della radiazione solare disponibile sul sito di un impianto solare consente di gestire convenientemente l'impianto stesso. L'energia fornita alla rete elettrica presenta infatti remunerazioni che dipendono dal momento nel quale essa viene erogata seguendo appositi piani di tariffazione. Conoscendo anticipatamente quanta energia si potrà "raccolgere" dal Sole, il gestore dell'impianto può decidere tempi e modi di erogazione in maniera da ottimizzarne il rendimento. Ma oltre a questo beneficio, altri sono i vantaggi dell'impiego delle previsioni di radiazione solare. Si possono determinare anticipatamente i giorni di fermo dell'impianto per la sua manutenzione ordinaria o straordinaria, facendoli coincidere con periodi di condizioni meteorologiche avverse. In caso di previsione di condizioni pericolose per l'impianto, ad esempio per temporale con grandine o vento forte, le superfici captanti potranno essere disposte preventivamente in posizione di sicurezza.

Ulteriori sviluppi del metodo di previsione seguiranno due direzioni differenti: allungamento del periodo di previsione fino a raggiungere 10 giorni e aumento della risoluzione temporale, scendendo dall'intervallo attuale di 24 ore fino a differenziare tra mattina, pomeriggio e sera. L'aumento della risoluzione temporale potrà essere spinto fino all'intervallo dell'ora; alcuni siti meteorologici forniscono già oggi una tale risoluzione. Quest'ultima direzione di sviluppo andrebbe così a raccordarsi con il cosiddetto *nowcasting*. Per raggiungere questo obiettivo saranno utilizzate le immagini del Meteosat di ultima generazione con risoluzione temporale di 15 minuti. Ciò consentirà di avere previsioni in tempo reale e risolvere così l'esigenza di tenere sotto controllo formazioni nuvolose isolate improvvise e localizzate su tutto l'impianto o su parti di esso in grado di creare shock termici.

### Il sito *SolarItaly - Atlante italiano della radiazione solare*

Nel mese di settembre 2006 è stato attivato il sito Internet *SolarItaly - Atlante italiano della radiazione solare* [2], all'interno del dominio ENEA (figura 6). Il sito offre la possibilità di utilizzare gratuitamente la grande quantità di dati, procedure e informazioni sviluppati in questi anni in ENEA relativi alla radiazione solare.

Al momento è operativa la sezione di calcolo della radiazione su superficie comunque orientata che viene incontro alle esigenze di tutti quegli operatori che hanno necessità di valutare l'energia solare incidente su piani inclinati.

Lo strumento di calcolo (informatico) è costituito essenzialmente dai seguenti componenti: l'archivio ENEA delle mappe di radiazione globale giornaliera media mensile su piano orizzontale, un sistema di interrogazione per estrarre i dati una volta che siano assegnati il me-

se e le coordinate geografiche della località e, infine, l'algoritmo che implementa il calcolo per riportare il dato sulla superficie di inclinazione e orientazione assegnati. Poiché le mappe abbracciano l'intera regione italiana è possibile effettuare il calcolo per qualunque località del nostro Paese.

L'algoritmo incorporato nello strumento di calcolo riprende il procedimento proposto dalla norma UNI 8477-1 [10]. Il dato di partenza è costituito dalla radiazione globale giornaliera media mensile sul piano orizzontale e viene estratto direttamente dalle mappe per i mesi e per la località indicati dall'utente: in ciò il calcolo *on-line* dell'ENEA differisce dall'altra norma UNI 10349 [11], la quale si limita a riportare solo i valori tabellati per i capoluoghi provinciali mentre, per tutte le altre località, suggerisce di interpolare linearmente i valori disponibili in funzione della latitudine.

Un'ultima possibilità offerta dalla procedura *on-line* riguarda l'eventuale presenza di

ostacoli che per alcune ore del giorno possano schermare i raggi solari diretti sulla superficie ricevente (a causa di una orografia particolare del terreno: colline ecc.; o per la presenza di manufatti come edifici vicini ecc.). In questo caso occorre conoscere preventivamente l'intervallo diurno – più breve – in cui i raggi solari diretti "investono" effettivamente la superficie, perché la procedura ne tenga conto e corregga gli estremi dell'intervallo d'integrazione.

Come già detto il sito dell'*Atlante* è pienamente operativo per le sezioni del *Calcolo* e della *Previsione* della radiazione e verrà ulteriormente arricchito. Per quanto riguarda la sezione archivio, sul nuovo sito saranno pubblicate sia le misure a terra della rete attinometrica ENEA, sia le nuove e più dettagliate mappe di stima della radiazione ricavate dalle immagini satellitari, che amplieranno e aggiorneranno fino ai giorni nostri quelle già rese disponibili nel precedente sito dell'*Archivio Climatico ENEA-DBT*.



Figura 6 Home page del sito SolarItaly - Atlante italiano della radiazione solare. Attualmente, la sezione 'portante' del sito è costituita dagli strumenti di Calcolo della radiazione solare che giunge al suolo. Il calcolo è riferibile alla molteplicità di configurazioni delle superfici captanti degli impianti energetici che sfruttano la fonte solare, si attiene alla normativa UNI ed utilizza i dati di radiazione raccolti dall'ENEA



## Bibliografia

[1] *Clisun - Archivio Climatico ENEA-DBT*, sito Internet (web: <http://clisun.casaccia.enea.it>); contiene – tra l'altro – le mappe della radiazione globale giornaliera media mensile 1994-1999 e le tabelle dei dati estrattivi per 1614 località uniformemente distribuite sul territorio italiano. Tutto il materiale è liberamente 'scaricabile'.

[2] *SolarItaly - Atlante italiano della radiazione solare*, sito Internet (web: <http://www.solaritaly.enea.it>).

[3] D. Cano, J.M. Monget, M. Albuissou, H. Guillard, N. Regas, L. Wald (1986), "A method for the determination of the global solar radiation from meteorological satellite data", *Solar Energy*, 37, 31-39, Elsevier.

[4] E. Cogliani, D. Malosti, M. Mancini e S. Petrarca (1993), "Stima della radiazione solare globale al suolo dalle immagini secondarie del satellite Meteosat", *HTE Energie alternative*, 85, 268-273.

[5] S. Petrarca, E. Cogliani, F. Spinelli (2000), *La radiazione solare globale al suolo in Italia. Anni 1998 e 1999 e media 1994-1999*, ENEA, Roma.

[6] E. Cogliani, P. Ricchiazzi, A. Maccari (2007), "Physical model SOLARMET for determining total and direct solar radiation by meteosat satellite images", *Solar Energy*, 81, 791-798, Elsevier.

[7] P. Ricchiazzi, S.R. Yang, C. Gautier, D. Sowle, (1998), "SBDART: a research and teaching software tool for plane-parallel radiative transfer in the Earth's atmosphere", *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 79, 2101-2114.

[8] S. Marullo, G. Dalu, A. Viola (1987), "Incident short-wave radiation at surface from Meteosat data", *Il Nuovo Cimento*, 10C, 77-90.

[9] C. Gautier, G.R. Diak, S. Masse (1980), "A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite data", *J. Appl. Meteorol.*, 19, 1005-1012.

[10] Norma UNI 8477, Parte 1<sup>a</sup>, "Energia solare. Calcolo degli apporti per applicazioni in edilizia. Valutazione dell'energia raggianti ricevuta" (1983).

[11] Norma UNI 10349, "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici" (1994).

[12] E. Cogliani, "Previsione di radiazione solare diretta" (2005), Documento non pubblicato, ENEA.

[13] F. Fiorenza (2003), "Studio ed implementazione di metodi di previsione a breve termine dell'intensità di radiazione solare diretta", tesi di laurea, Università degli studi di Roma "La Sapienza"-ENEA.

[14] F. Spinelli, E. G. Cogliani, A. Maccari, M. Milone (2007), *La misura e la stima della radiazione solare*, ENEA, SOL/RS/2007/21, Roma.

## Nota

I colleghi Sergio Petrarca, Aldo Bastianelli, Arcangelo Benedetti, Giuseppe Cara, Giancarlo Caselli, Mauro Giorgetti, Massimo Mancini, Michele Mastrosimone, Roldano Siviero e Franco Treppo hanno contribuito in passato o partecipano tuttora alle attività descritte nell'articolo.



[francesco.spinelli@casaccia.enea.it](mailto:francesco.spinelli@casaccia.enea.it)



[euro.cogliani@casaccia.enea.it](mailto:euro.cogliani@casaccia.enea.it)



[maccari@casaccia.enea.it](mailto:maccari@casaccia.enea.it)



[mauro.milone@casaccia.enea.it](mailto:mauro.milone@casaccia.enea.it)



## Organismi Geneticamente Modificati (OGM)

A cura di Emilio Santoro

Gli organismi geneticamente modificati sono animali, piante o microorganismi il cui patrimonio genetico, o genoma, è stato modificato introducendo un gene, raramente più di uno, preso da un altro organismo. Talvolta la modificazione genetica può invece avvenire per asportazione di un gene.

Gli organismi geneticamente modificati vengono prodotti e studiati per migliorare alcune caratteristiche della produzione di beni agricoli e animali, come la qualità, la resa, l'inattaccabilità da parte dei patogeni, la resistenza ad ambienti ostili e così via. Inoltre alcuni di essi sono stati prodotti per sopperire a carenze alimentari o per diffondere in maniera economica dei vaccini. Il loro impiego dunque rappresenta un grande avanzamento tecnologico.

### Cenni storici

Il primo OGM fu ottenuto nel 1973 da Stanley Cohen e Herbert Boyer. I primi animali transgenici furono topi, creati nel 1974 da Rudolf Jaenisch che riuscì a portare a termine la procedura di inserimento di un gene esterno all'interno degli embrioni. In seguito Jaenisch dimostrò l'effettiva efficacia del processo di transgenesi: i topi non solo avevano integrato il DNA esterno, ma erano in grado di tramandare questo carattere alla progenie.

I principali progressi nelle applicazioni pratiche delle biotecnologie in campo vegetale sono stati compiuti negli ultimi venti anni. In particolare, le biotecnologie vegetali hanno preso l'avvio dalla fusione delle metodiche di coltura in vitro di cellule e/o tessuti vegetali con la tecnologia del DNA ricombinante e con lo sviluppo di sistemi per inserire singoli geni direttamente nel nucleo cellulare. Nel 1994 venne autorizzata negli Stati Uniti la commercializzazione del primo prodotto di una pianta transgenica: il pomodoro *Flavr Savr*, caratterizzato da frutti che si mantenevano compatti anche a maturazione avanzata.

### Settori di applicazione

La modificazione del patrimonio genetico di un organismo (animale, vegetale o microorganismo) avviene grazie all'utilizzo delle tecniche biotecnologiche che comprendono applicazioni dell'ingegneria genetica e della biologia molecolare. Le nuove conoscenze in questo settore stanno consentendo la messa a punto di tecniche e di metodologie in grado di intervenire direttamente sul patrimonio genetico degli organismi viventi (uomo, piante, animali, microorganismi). I concetti su cui trovano fondamento le biotecnologie si basano sul fatto che ogni organismo possiede un proprio **genoma**, contenente tutte le informazioni utili allo sviluppo e costituito dal DNA. Quest'ultimo è paragonabile ad un alfabeto di quattro lettere (GATC) che, lette in sequenza, compongono i geni, assimilabili a "frasi" che codificano le **proteine**, costituenti principali di tutti gli organismi viventi. È importante richiamare l'attenzione sulla universalità del **codice genetico**, per la rilevanza che ha per la biotecnologia in generale. Il codice è universale in quanto una sequenza di DNA è interpretata allo stesso modo da tutti gli esseri viventi, dai batteri all'uomo.

L'universalità del codice genetico e il fatto che, in generale, i processi che regolano la sintesi delle proteine sono comuni a tutti gli esseri viventi, ha reso possibile, ad esempio, inserire e far funzionare un gene batterico all'interno di una pianta.

Le biotecnologie trovano applicazione in diversi campi.

**Medicina:** sono utilizzate per produrre farmaci (insulina umana, ormone della crescita, interferone, interleuchine), vaccini (epatite B, influenza, pertosse), prodotti diagnostici (anticorpi monoclonali, sonde nucleotidiche), terapia genica.

**Zootecnia:** in questo campo una delle applicazioni più importanti è stata la produzione dell'ormone somatotropo bovino grazie al quale si determina un aumento della quantità giornaliera di latte prodotta.

**Industria alimentare:** le applicazioni più importanti riguardano la produzione di enzimi utilizzati per i



processi di trasformazione (mais, latticini, carne, bevande) e di conservazione degli alimenti. Uno degli enzimi ottenuti tramite le biotecnologie è la chimosina utilizzata per la produzione dei formaggi.

**Ambiente:** l'applicazione delle biotecnologie è utilizzata per risolvere alcune tra le più urgenti problematiche ambientali quali lo smaltimento dei rifiuti, il trattamento delle emissioni gassose, il trattamento degli effluenti liquidi, la bonifica dei siti contaminati, e si basa sull'utilizzazione di microrganismi geneticamente modificati capaci di degradare composti e sostanze tossiche.

**Agricoltura:** molte specie vegetali sono state modificate per ottenere piante capaci di resistere più efficacemente a stress ambientali, a patogeni e parassiti, e di tollerare alcuni erbicidi. Inoltre, si è intervenuti per realizzare piante con modificate caratteristiche nutrizionali. Le specie maggiormente utilizzate fino ad ora sono state il mais, la colza, la soia, il cotone e il riso.

Il ruolo della ricerca scientifica e in particolare di quella pubblica non si deve quindi esaurire nella ricerca di nuove e vantaggiose applicazioni delle moderne biotecnologie, ma deve essere anche quello di valutare e prevenire i rischi connessi all'introduzione di tali tecniche nell'ambiente, in modo da dare delle risposte esaurienti e rassicuranti all'opinione pubblica.

#### Normativa UE

La Commissione Europea, secondo quanto stabilito dal Libro Bianco 2000, ha concluso nel 2003 la predisposizione del quadro normativo che regola il settore delle biotecnologie. Tale settore è direttamente correlato al quadro più generale relativo alla sicurezza alimentare comunitaria, le cui procedure di base sono descritte nel Regolamento n. 178/2002 che *"Stabilisce i principi e i requisiti generali della legislazione alimentare, istituisce l'Autorità europea per la sicurezza alimentare e fissa procedure nel campo della sicurezza alimentare"*.

Il quadro normativo comunitario è stato completato dal Regolamento (CE) n. 1829/2003 del Parlamento Europeo e del Consiglio relativo a *"Alimenti e mangimi geneticamente modificati"*, e dal Regolamento (CE) n. 1830/2003 del Parlamento Europeo e del Consiglio concernente *"La tracciabilità e l'etichettatura di organismi geneticamente modificati e la tracciabilità di alimenti e mangimi ottenuti da organismi geneticamente modificati nonché recante modifica della direttiva 2001/18/CE"*. Tali regolamenti si sono aggiunti alla normativa comunitaria preesistente, ovvero la direttiva n. 2001/18/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa a *"Emissione deliberata nell'ambiente di organismi geneticamente modificati e che abroga la dir. n. 90/220/CE"*, che prevede le procedure di autorizzazione a fini sperimentali e di commercializzazione delle colture transgeniche.

Per rendere più completo l'impianto normativo del settore, la Commissione UE ha emanato nel 2003 la Raccomandazione n. 2003/556/CE recante *"Orientamenti per lo sviluppo di strategie nazionali e migliori pratiche per garantire la Coesistenza fra agricoltura convenzionale, agricoltura con metodo biologico e colture geneticamente modificate"*, e nel 2004 due regolamenti: il Reg. (CE) n. 65/2004 della Commissione che *"stabilisce un sistema per la determinazione e l'assegnazione di indicatori unici per gli organismi GM"* e il Reg. (CE) n. 641/2004 della Commissione che reca *"norme attuative del Reg. (CE) 1829/2003 sulla domanda di autorizzazione di nuovi alimenti e mangimi GM, la notifica dei preesistenti e la presenza accidentale di materiale GM oggetto di una valutazione favorevole del rischio"*.

Fonte: APAT



emilio.santoro@casaccia.enea.it



# cronache

## Tecnologie ambientali nei Paesi Bassi

Numerosi giornali e riviste tecnico-scientifiche di tutto il mondo hanno partecipato ad una visita di lavoro nei Paesi Bassi sul tema delle tecnologie ambientali. La visita, organizzata da EVD ([www.evd.nl](http://www.evd.nl)), Agenzia per il Commercio e la Cooperazione Internazionale del Ministero degli Affari Economici dei Paesi Bassi, si è svolta dal 3 al 5 dicembre 2007. Nei Paesi Bassi, paese densamente popolato ed altamente industrializzato, le politiche per affrontare i problemi ambientali sono state avviate da diversi decenni e, per questa ra-

gione, amministrazioni ed aziende hanno accumulato una notevole esperienza nel settore. SCOPO della visita era per l'appunto illustrare le tecnologie ambientali sviluppate dall'industria olandese soprattutto in quattro settori chiave: la protezione dagli effetti dei cambiamenti climatici; la gestione dei rifiuti; il risanamento dei suoli e la depurazione delle acque.

### *Effetti dei cambiamenti climatici*

La tutela dagli effetti dei cambiamenti climatici è la massima priorità del governo olandese in tema di ambiente. A sottolinearlo è stata la titolare del Ministero dell'Ambiente e della Pianificazione del Territorio Jacqueline Cramer, che ha ricevuto la delegazione nella sede del suo ministero. I Paesi Bassi si stanno preparando a gestire un innalzamento del livello del mare ed una maggiore portata attesa dei grandi fiumi che attraversano il paese. Società di ingegneria come la Witteveen + Bos

([www.witteveenbos.com](http://www.witteveenbos.com)) traducono in pratica il piano governativo "Room for the river", progettando interventi mirati ad ampliare le sedi fluviali ed a creare bacini per l'esondazione controllata in caso di piena.

### *Gestione rifiuti*

I responsabili ministeriali della gestione dei rifiuti Herman Huisman e Kees den Herder hanno illustrato i capisaldi della politica olandese sul tema ed i risultati conseguiti negli ultimi anni. Grazie all'introduzione di una tassa per lo smaltimento di rifiuti in discarica di 86 €/ton, che ha reso di fatto questa via di smaltimento la più costosa in assoluto, i Paesi Bassi hanno registrato nei 10 anni tra il 1993 ed il 2003 una riduzione del 75% e sono oggi il paese europeo con il minor smaltimento in discarica di rifiuti (meno del 5% contro il quasi 60% dell'Italia).

La scelta di dare priorità al recupero è tradotta in azioni concrete da aziende come la VAR ([www.var.nl](http://www.var.nl)), specializzata nel trattamento rifiuti e loro riciclo. Nei suoi impianti sono processate più di 1 milione di tonnellate di rifiuti ogni anno, di cui l'80% viene riciclato. Cinque divisioni si occupano della separazione dei rifiuti e della loro trasformazione in compost, biomassa, materiali da costruzione, combustibili ed energia.

Tutto ciò che non risulta conveniente riciclare viene trasformato in energia in impianti come quello di Amsterdam, gestito dall'azienda municipale dei rifiuti e dell'energia ([www.afvalenergiebedrijf.nl](http://www.afvalenergiebedrijf.nl)). L'azienda gestisce raccolta e smaltimento dei rifiuti della città e dintorni, per il 60% di origine domestica e per il 40% industriale, e da essi recupera elettricità e calore. L'inceneritore, o meglio la centrale elettrica a rifiuti, basato su una tecnologia simile a quella dell'impianto di Brescia, è in funzione dal 1993 ed attualmente smaltisce 910.000 tonnellate di rifiuti all'anno. È attualmente in funzione anche un impianto pilota per il recupero di materiali dalle ceneri, da cui si ottiene un 10% di metalli ferrosi, un 2,4% di metalli non ferrosi, un 35% di sabbie ed un 45% di materiale granulato utilizzato soprattutto per la produzione di cemento.

### *Bonifica dei suoli contaminati*

Data la notevole diffusione del problema legato alla contaminazione dei suoli, le aziende olandesi sono attive in questo settore da anni. Il responsabile per la gestione e bonifica dei siti contaminati del Ministero, Ruud Cino, ha illustrato la notevole diffusione del problema legato alla contaminazione dei suoli, nonché la sua particolare gravità in un paese in cui il livello della falda è mediamente di soli 2 m al di sotto



dal Mondo

Tecnologie ambientali nei Paesi Bassi

Al via MEDREG



del livello del terreno. Dal 1987 è in atto una politica efficace di prevenzione della contaminazione, ma il paese deve fare i conti con la pesante eredità di circa 400.000 siti potenzialmente contaminati, il che rende di fatto impossibile la completa decontaminazione. La scelta obbligata è quindi quella di non intervenire laddove non strettamente necessario, ma di modificare la destinazione d'uso del terreno. La massima protezione è dedicata ai terreni edificabili ed a quelli destinati alle coltivazioni alimentari mentre standard meno elevati sono considerati accettabili per altri usi.

Quando non è possibile modificare l'uso del terreno si procede alla bonifica, anche se ciò comporta costi enormi, come nella città di Vaassen, interessata da una contaminazione particolarmente grave da cianuri, solventi e metalli pesanti. Sul posto è stato realizzato dal Verhoeve Groep ([www.verhoevemilieu.com](http://www.verhoevemilieu.com)) un progetto di bonifica del suolo che ha previsto l'escavazione del terreno per diversi metri e prevede tuttora il pompaggio dell'acqua di falda, il suo trattamento e la successiva iniezione dell'acqua trattata nella falda stessa.

Allo scopo di esportare in tutto il mondo l'esperienza acquisita nel settore il governo, gli istituti di ricerca e le aziende private olandesi hanno creato il Netherland Soil Partnership, che informa e coordina tutte le attività del settore.

#### Trattamento delle acque

Anche nel settore del trattamento delle acque i Paesi Bassi hanno saputo integrare e coordinare le loro competenze a livello di ricerca, industria e governo nel Netherland Water Partnership ([www.nwp.nl](http://www.nwp.nl)). Il trattamento delle acque è considerato dal governo olandese un'area di investimento prioritaria per lo sviluppo e la ricerca, su sei tematiche in particolare: salinità, trattamenti

decentralizzati delle acque, bioreattori a membrana (MBR), *biofouling* delle membrane, energia dall'acqua e sviluppo di sensori.

Gli enti di ricerca hanno saputo sviluppare trattamenti innovativi anche in settori caratterizzati da tecnologie più consolidate, quali la rimozione dei nutrienti dalle acque di scarico. L'università di Delft ha sviluppato e brevettato il metodo Anammox per la rimozione dell'azoto, basato sull'utilizzo di batteri in grado di trasformare ammoniaca e nitriti in azoto molecolare ed acqua in condizioni anossiche. Ciò consente, rispetto ai metodi tradizionali, notevoli risparmi energetici. Il sistema originale è attualmente commercializzato dalla ditta Paques ([www.paques.nl](http://www.paques.nl)), che lo ha applicato con successo al trattamento di scarichi dell'industria agroalimentare, al trattamento del surnatante derivante dalla gestione anaerobica dei fanghi, agli scarichi dell'industria conciaria e della produzione dei semiconduttori. Impianti di trattamento con configurazioni diverse, ma basate sull'uso degli stessi batteri, sono progettati anche dalla società di ingegneria Grontmij ([www.grontmij.com](http://www.grontmij.com)), che ne propone l'applicazione al trattamento degli scarichi civili.

Anche nel settore dei trattamenti a membrana, aziende come la Norit ([www.noritmt.com](http://www.noritmt.com)) sono a livelli di eccellenza e realizzano impianti MBR che consentono rimozioni tali da permettere lo scarico degli effluenti depurati in corpi idrici di elevato pregio ambientale.

[davide.mattioli@bologna.enea.it](mailto:davide.mattioli@bologna.enea.it)

## Al via MEDREG

I rappresentanti delle Autorità di Regolazione di 23

paesi del Mediterraneo hanno firmato il 15 novembre 2007 a Roma l'atto istitutivo del MEDREG, il *Mediterranean Working Group on Electricity and Natural Gas Regulation* che riunisce: Albania, Algeria, Bosnia Erzegovina, Croazia, Cipro, Egitto, Francia, Grecia, Israele, Italia, Giordania, Libano, Libia, Malta, Marocco, Montenegro, Palestina, Portogallo, Slovenia, Siria, Spagna, Tunisia, Turchia.

L'obiettivo è quello di creare un comune quadro di regole, stabile e armonizzato con quello dell'Unione Europea, di contribuire alla realizzazione di un mercato allargato dell'energia e allo sviluppo delle dotazioni infrastrutturali in un'ottica di sicurezza degli approvvigionamenti e di diversificazione delle fonti.

MEDREG opererà in stretto contatto con REMEP, la *Rome Euro-Mediterranean Energy Platform*, l'istituzione intergovernativa nata nel dicembre 2003 con sede in Roma che si occupa di cooperazione energetica in ambito euro-mediterraneo, allo scopo di rafforzare sinergicamente le possibili importanti ricadute sul mercato energetico italiano. Attualmente i principali progetti di collaborazione riguardano: l'Albania, progetto del gasdotto Algeria-Sardegna; la Grecia, realizzazione del metanodotto Italia-Grecia-Turchia (progetto ITGI); Malta, possibili progetti di interconnessione elettrica e di infrastrutture gas; la Tunisia, studio di fattibilità della centrale elettrica di El Haouaria; la Turchia, adeguamento della regolamentazione turca ai principi e modelli comunitari; l'Est Europa: realizzazione del Trattato che istituisce l'Energy Community.





# cronache

## Gli impegni in materia di cambiamenti climatici

La Commissione Europea ha adottato il 23 gennaio un importante pacchetto di proposte per dare attuazione agli impegni assunti dal Consiglio europeo nel marzo 2007 in materia di lotta ai cambiamenti climatici e promozione delle energie rinnovabili. Le proposte, ha detto il presidente della Commissione José Manuel Barroso, dimostrano che gli obiettivi fissati dal Consiglio sono realizzabili sia dal punto di

vista tecnologico che economico e offrono opportunità commerciali senza precedenti a migliaia di imprese europee.

Basandosi sul sistema UE di scambio delle quote di emissioni, la Commissione propone di rafforzare il mercato unico del carbonio a livello comunitario, che si estenderà a un numero maggiore di gas serra (attualmente riguarda la sola CO<sub>2</sub>) e interesserà tutti i grandi impianti industriali responsabili delle emissioni. Le quote di emissione poste sul mercato saranno ridotte di anno in anno in modo da permettere una riduzione delle emissioni del 21% nel 2020 rispetto ai livelli del 2005.

Nel settore energetico, il maggior responsabile delle emissioni, tutte le quote saranno messe all'asta sin dall'avvio del nuovo regime, nel 2013. Negli altri settori industriali e nel trasporto aereo, la transizione verso la vendita all'asta di tutte le quote avverrà gradualmente, anche se si potranno fare delle eccezioni per i settori più vulnerabili alla concorrenza dei produttori dei paesi in cui non esistono vincoli analoghi in materia di carbonio. Inoltre le aste saranno aperte: qualsiasi operatore comunitario potrà comprare quote in qualsiasi Stato membro.

Le entrate derivanti dal sistema andranno agli Stati membri e dovranno essere utilizzate per aiutare l'UE ad orientarsi verso un'economia più attenta all'ambiente, promuovendo l'innovazione in settori quali le energie rinnovabili, la cattura e lo stoccaggio del carbonio, la ricerca e lo sviluppo. Parte delle entrate dovrà essere destinata ad aiutare i paesi in via di sviluppo ad adattarsi ai cambiamenti climatici.

In settori non rientranti nel sistema di scambio delle quote, come l'edilizia, i trasporti, l'agricoltura e i rifiuti, l'UE ridurrà le emissioni del 10% rispetto ai livelli del 2005 entro il 2020. Per ciascuno Stato membro la Commissione propone un obiettivo specifico di riduzione delle emissioni da conseguire entro il 2020; nel caso dei nuovi Stati membri gli obiettivi prevedono la possibilità di un aumento delle emissioni.

È, inoltre, urgente che tutti gli Stati membri inizino a modificare la struttura del consumo energetico: oggi la quota di energie rinnovabili sul consumo energetico finale dell'UE è pari all'8,5%; ciò significa che è necessario un aumento dell'11,5% per raggiungere l'obiettivo del 20% nel 2020.

A tal fine, la Commissione ha fissato oggi obiettivi individuali giuridicamente vincolanti per ciascuno degli Stati membri.

A condizione che l'obiettivo generale della Comunità sia raggiunto, gli Stati membri potranno contribuire allo sforzo complessivo dell'UE a favore delle energie rinnovabili senza limitarsi necessariamente ai confini nazionali.

La proposta approvata concerne anche l'obiettivo minimo del 10% di biocarburanti nel settore dei trasporti, percentuale che è la stessa per tutti gli Stati membri.

È anche stata approvata la nuova disciplina per aiutare gli Stati membri a sviluppare politiche europee sostenibili in materia di clima e di energia: si fissano nuove condizioni per gli aiuti di Stato a tutela dell'ambiente e si stabilisce un importante equilibrio tra il conseguimento di maggiori benefici ambientali e la riduzione delle distorsioni della concorrenza.





## Al via i bandi di gara per ITER

Il 14 febbraio a Torino Incontra, in un convegno organizzato dalla Camera di commercio di Torino, dall'Associazione per lo Sviluppo scientifico e tecnologico del Piemonte e dal Politecnico, sono state presentate a un centinaio di aziende, di cui l'80% torinesi, le opportunità offerte dai bandi di gara per il progetto internazionale ITER.

Sta per nascere a Cadarache, nella vicina Provenza, ITER, il primo reattore nucleare a fusione: una struttura dal valore inestimabile dal punto di vista scientifico e un'occasione per tutte le imprese italiane interessate a concorrere alla

fornitura delle commesse. Il progetto internazionale ITER - vi partecipano Unione Europea, Russia, Cina, Giappone, Stati Uniti, India e Corea del Sud - è ormai giunto alla fase di realizzazione e stanno per prendere il via le prime gare d'appalto per la costruzione dei componenti del reattore sperimentale e delle infrastrutture ad esso connesse. Le commesse vanno dalle forniture più tradizionali (edilizia e impianti) a tecnologie di altissimo livello. La costruzione procederà per una decina d'anni e richiederà alle piccole e medie imprese di sapersi aggregare per rispondere a bandi complessi. La struttura, del valore di dieci miliardi di euro, consentirà di svolgere attività di ricerca e sviluppo di nuove tecnologie per le centrali a fusione del futuro. ENEA, nell'ambito dell'accordo EURATOM, coordina per l'Italia le ricerche sulla fusione alle quali partecipano tra gli altri anche CNR e INFN. Come ha sottolineato il Consigliere di Amministrazione ENEA Riccardo Casale, la partecipazione dell'Italia a ITER rappresenta una grande opportunità per acquisire importanti commesse industriali ma anche un'occasione di confronto mondiale, in un settore di altissima complessità scientifica e tecnologica, dalla quale ricercatori e imprese potranno sviluppare nuove conoscenze e aumentare la capacità di competere del Paese nel settore strategico dell'energia.

## Terzo festival delle scienze

Dal 14 al 20 gennaio, si è svolta a Roma la terza edizione del Festival delle Scienze collocata nell'ambito dell' "Anno internazionale del Pianeta Terra", proclamato dalle Nazioni Unite per di-

mostrare gli straordinari risultati ottenuti negli ultimi anni dalle Scienze della Terra e spingere amministratori e politici ad applicare le conoscenze tecnico-scientifiche acquisite per favorire uno sviluppo concretamente sostenibile.

La manifestazione ha riunito presso l'Auditorium Parco della Musica alcuni tra i più autorevoli scienziati, filosofi, economisti, politologi e politici internazionali con l'obiettivo di stimolare una riflessione consapevole sul ruolo della ricerca nei problemi chiave dell'umanità - dai conflitti per le risorse primarie come l'acqua e il cibo alla ricerca di fonti di energia - con particolare attenzione all'allargamento del dialogo verso esponenti del mondo asiatico, del Medio Oriente, dell'America Latina e dell'Africa. L'ENEA, da sempre impegnato nella divulgazione scientifica e nella sensibilizzazione dei cittadini sulla questione climatica, ha partecipato alla manifestazione con due percorsi espositivi per condurre il visitatore, in primo luogo, alla scoperta del rapporto intimo tra la società degli uomini e l'ambiente naturale nel quale questa si è sviluppata, poi, a verificare come sia ancora possibile, grazie allo sviluppo scientifico e tecnologico, riscoprire un nuovo equilibrio con l'ambiente. Il primo itinerario è stato chiamato "Storie che s'intersecano: la terra, l'uomo, il clima, scopri come cambia la terra degli uomini"; il secondo è stata la mostra "Solevento, il pianeta rinnovabile" realizzata in collaborazione con Città della Scienza di Napoli e Legambiente Liguria.

In sintesi, una settimana fitta di incontri e dibattiti con l'obiettivo di rispondere a una domanda cruciale: dove ci porta la scienza? O meglio: dove può portarci e dove vogliamo che ci porti nel prossimo futuro?

dall'Italia

Al via i bandi di gara per ITER

Terzo festival delle scienze

cronache





# cronache

## Premio europeo al progetto "Desire-Net"

La Commissione Europea ha assegnato il premio Award SEE "Campagna per l'Energia Sostenibile per l'Europa" al progetto "Desire-Net", realizzato dall'ENEA in collaborazione con l'UNESCO, per la categoria "Programmi di Cooperazione". "Desire-Net", coordinato da Anna Moreno dell'ENEA, ha l'obiettivo di trasferire conoscenze e tecnologie ai Paesi in via di sviluppo, dall'Europa Orientale all'Africa, dalla Turchia alla Cina, utilizzando l'e-learning con il contributo degli esperti più qualificati del settore. Il ciclo di lezioni riguarda la

progettazione e la diffusione delle fonti rinnovabili (solare termico, idrogeno, eolico, biomasse, geotermico e fotovoltaico), il Protocollo di Kyoto, l'edilizia sostenibile, le nuove tecnologie e gli scenari energetici. Ogni tema viene approfondito e declinato nei diversi aspetti, dalla progettazione all'illustrazione delle tecnologie più innovative, dalla situazione del mercato nazionale e internazionale alle reali prospettive di sviluppo futuro.

La promozione delle "energie pulite" attraverso l'e-learning, un sistema alla portata di tutti, ha reso "Desire-Net" uno strumento importante per le attività condotte da alcune organizzazioni internazionali attive nel campo dello sviluppo e della cooperazione. A volte, installare pannelli fotovoltaici dove arriva la corrente elettrica può apparire un'operazione complessa se non è alimentata da un forte spirito eco-sostenibile. Realizzarlo invece in paesi dell'Africa, particolarmente poveri, ha un significato ben diverso poiché si agisce in realtà dove lo sviluppo di energie rinnovabili può dare un vero contributo alle economie locali, con benefici ad ogni livello.

L'obiettivo del progetto presentato dall'ENEA, in occasione del Workshop *Dall'ecobuilding al distretto energetico: ricerca e governance verso nuovi modelli di sviluppo*, che ha avuto luogo il 19 dicembre presso la Sede dell'Ente, è quello di incentivare l'efficienza energetica, lo sviluppo di tecnologie legate alla produzione di energia a basso impatto ambientale, il trasferimento e la collaborazione con il sistema imprenditoriale per una maggiore competitività e favorire un incremento dell'occupazione a livello locale. Si tratta cioè di evolvere, pur rispettando le caratteristiche delle nostre realtà locali, verso i modelli già applicati con successo nel Nord Europa.

Fino ad oggi, le attività di implementazione di sistemi di microgenerazione alimentati da fonti rinnovabili o gli interventi di riqualificazione energetica sono sempre stati pensati, proposti e realizzati come parti separate tra loro senza guardare ad ogni singola attività o intervento come alla componente di unico sistema complesso.

Questa è la strada da imboccare per realizzare in Italia una rete di microgenerazione diffusa sul territorio insieme al perseguimento del risparmio energetico che deve includere la valutazione di un'offerta integrata, quale ad esempio, quella relativa agli impianti di produzione di energia alimentati da fonti rinnovabili, agli strumenti di controllo ed ai sistemi di illuminazione, sino alla creazione di veri e propri distretti energetici, i *power park*, caratterizzati da tecnologie integrate in un unico sistema. Occorre pensare in termini di tecnologie di sistemi, progett-



## Dall'ecobuilding al distretto energetico

Ridurre al 2020 i consumi e le emissioni del 20% ed incrementare della stessa entità le fonti rinnovabili, è una delle sfide più ardue che l'Europa si sia mai data, anche perché i consumi energetici del settore civile crescono del 2% l'anno.



tare sistemi articolati e capacità di controllo relativo.

L'ENEA sta sviluppando una piattaforma software (ODESSE - Optimal DESign for Smart Energy) in grado di simulare dinamicamente un ecobuilding o sistemi di edifici connessi ad impianti di generazione distribuita e fonti rinnovabili con condizioni tariffarie, fiscali e normative reali. Oltre alle tecnologie di sistema, l'ENEA è impegnato nello sviluppo di prodotti, tecnologie e strumenti che possono essere considerati componenti di un sistema più vasto, ma che hanno in sé una valenza. In particolare un ampio sforzo è stato fatto sul tema del calcolo del consumo dell'edificio e della sua certificazione energetica, e sono stati sviluppati diversi codici di calcolo tra cui il codice RECAL PE per la certificazione energetica rigorosa di edifici esistenti o nuovi ed il codice DOCET per la certificazione energetica a basso costo di edifici esistenti con metodo semplificato.

Tra gli esempi illustrati nel corso del convegno: l'intervento di riqualificazione energetica di un complesso residenziale popolare di Biella; lo studio per gli interventi di retrofit energetico della sede di Roma dell'Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas; la progettazione di interventi sperimentali su tre

nuovi edifici a Rossano Calabro; il controllo avanzato dell'edificio *Sino Italian Energy Efficient Building* (SIEEB) presso l'Università Tsinghua a Pechino.

## Sistema OpenGIADA

L'ENEA ha sottoscritto recentemente una convenzione quadro con l'Istituto Sviluppo Sostenibile Italia (ISSI) su temi tecnico-scientifici di reciproco interesse e competenza programmatica. Tra gli altri, i temi includono la promozione dello sviluppo delle tecniche di telerilevamento e dei Sistemi Informativi Territoriali (SIT) unitamente alla diffusione del loro utilizzo, soprattutto da parte della Pubblica Amministrazione centrale e locale.

In questo settore il Dipartimento Ambiente, Cambiamenti globali e Sviluppo sostenibile dell'ENEA ha maturato e dispone di competenze e di risorse strumentali d'avanguardia, che costituiscono un riconosciuto punto di riferimento a livello nazionale e internazionale.

Nell'ambito della convenzione è stato organizzato il Workshop "Tecniche di tele-

rilevamento e sistemi informativi territoriali per la protezione dell'ambiente: il sistema OpenGIADA " che si è tenuto il 25 gennaio presso il Centro Ricerche ENEA della Casaccia.

Scopo preminente dell'iniziativa è stato di diffondere la conoscenza e l'utilizzo dei SIT come strumento di supporto alla gestione e pianificazione del territorio con particolare riferimento alla *suite* OpenGIADA, appositamente realizzata dal Ministero dell'Ambiente e resa disponibile alle Amministrazioni Pubbliche per lo svolgimento dei rispettivi compiti. La *suite* è dotata di moduli software specifici per la catalogazione, produzione e aggiornamento di strati informativi, nonché per la creazione e gestione di progetti cartografici.

Nel corso del Workshop sono state anche illustrate le moderne tecniche di telerilevamento aerospaziale quale strumento di monitoraggio del territorio in grado di fornire una vasta gamma di dati e misure complementari. A tal fine sono state descritte alcune applicazioni realizzate in ENEA che ne hanno illustrato l'efficacia per lo studio della vegetazione nonché per la conoscenza e pianificazione del territorio urbano.

## Nominati Vice-Presidente e Direttore Generale

Il Consiglio di Amministrazione ha nominato, il 18 gennaio, la Dott.ssa Cristina Battaglia *Vice Presidente* e l'Ing. Maurizio Urbani *Direttore Generale* dell'ENEA.

La Dott.ssa Cristina Battaglia, 34 anni, laureata in Fisica, svolge la sua attività di ricerca presso l'Istituto Nazionale di Fisica della Materia ed è Presidente di Sviluppo Italia - Liguria.

L'Ing. Maurizio Urbani, 49 anni, laureato in ingegneria nucleare, ha ricoperto incarichi in ENEL, Ministero dell'Ambiente, ANPA (ora APAT) ed ERG SpA.

Con queste nomine l'ENEA intende dare ulteriore impulso al rinnovamento e al rilancio del suo ruolo di Ente di ricerca per l'innovazione tecnologica nel settore energetico e ambientale, a supporto dello sviluppo e della competitività del Paese.



## cronache

## Il Summit dell'energia ad Abu Dhabi: presentata Stapelia

Tra il 21 ed il 23 gennaio si è tenuto ad Abu Dhabi il World Future Energy Summit 2008 (WFES08), una conferenza-mostra dedicata al tema dell'energia del futuro ed in particolare alla ricerca di soluzioni relative ai temi del risparmio energetico, della sicurezza dell'energia, dell'ambiente e dello sviluppo sostenibili.

Unico stand italiano presente

(se si esclude quello dell'Istituto nazionale per il Commercio Estero) è stato quello dell'ENEA, che esponeva StapeliaTM, il lampione fotovoltaico sviluppato presso il Centro Ricerche ENEA di Portici brevettato nel novembre 2006.

La partecipazione al WFES è stata concordata e condivisa con la società Cالداني, la quale dal giugno 2007 è titolare di un contratto di licenza per la fabbricazione e commercializzazione di Stapelia.

La scelta si è rivelata indovinata, infatti l'attenzione che nel contesto del WFES è stata dedicata a Stapelia è stata sorprendente. Ciò è stato possibile anche grazie all'entusiasmo manifestato da Paolo Dionisi, ambasciatore italiano presso gli Emirati Arabi Uniti, che ha spesso presenziato allo stand, captando l'interesse di eminenti personalità politiche e governative locali.

Tutto ciò si è concretamente tradotto nei primi ordini, e nell'invito a presentare Stapelia anche all'evento tenutosi a Dubai tra il 10 e il 13 febbraio, dal nome *Middle East Electricity* (anche questo conferenza-mostra).

Tra le proposte più significative, quella della municipalizzata di Dubai, che si è candidata alla collaborazione per la produzione dei lampioni in loco. Tra le più "singolari", assai diversa dalle finalità per le quali Stapelia è stata disegnata, quella di alcuni gestori di oleodotti, che intenderebbero sostituire i gruppi elettrogeni localizzati lungo i condotti (per garantire una protezione catodica dalla corrosione dei condotti stessi) con filari di

Stapelia. I componenti non sarebbero quindi impiegati per illuminare, ma per produrre energia valorizzando il percorso dell'oleodotto.

Una proposta di questo tipo, ed il contenuto dei colloqui intercorsi con i diversi visitatori dello stand, suggeriscono che ciò che ha consentito visibilità a Stapelia in una fiera in cui erano presenti le più importanti società e industrie operanti nel campo fotovoltaico a livello mondiale, sembra essere la sua natura "disegnata". Essa fornisce infatti una possibile risposta al tema della diffusione delle fonti rinnovabili non tanto in termini di tecnologia, quanto in termini di "design", e ciò la differenzia dalla maggioranza delle proposte presentate, e la rende particolarmente affine al contesto degli Emirati Arabi.

In occasione della cerimonia di apertura del WFES, il Generale Sceicco Mohammed bin Zayed Al Nahyan, Principe ereditario di Abu Dhabi ha annunciato l'intenzione di investire 15 miliardi di dollari in progetti dedicati alle fonti energetiche alternative. In particolare ha fatto riferimento a progetti di infrastrutture per le rinnovabili basati sul solare, alla generazione da eolico e da idrogeno, alla riduzione ed al controllo dell'impiego del carbone, allo sviluppo sostenibile, all'educazione e alla industrializzazione di soluzioni energetiche per il futuro.

L'investimento verrà veicolato attraverso "Masdar" (che in arabo significa "fonti"), che è il nome di una società fondata per ricercare, sviluppare e commercia-



### Eventi

Il Summit dell'energia ad Abu Dhabi: presentata Stapelia

Polo formativo per i Beni culturali del Lazio



lizzare risorse energetiche per il futuro, ma è anche quello di un prototipo di città sostenibile dove la più alta qualità di vita possibile potrà essere raggiunta con la minima impronta ecologica. Concepita da Norman Foster, occuperà un'area di circa 7km<sup>2</sup> di deserto nei pressi di Abu Dhabi. E' in questo luogo fisico e anche "immateriale" che il governo di Abu Dhabi farà convergere esperti di vari settori al fine di strutturare un laboratorio permanente ed una sede di scambio e confronto fra diversi attori per mettere a punto appropriate soluzioni energetiche per il futuro delle nostre città.

[alessandra.scognamiglio@portici.nea.it](mailto:alessandra.scognamiglio@portici.nea.it)

## Polo formativo per i Beni culturali del Lazio

I Beni culturali sono un settore altamente produttivo, al quale occorre guardare operando con strategie unitarie che puntino sulla qualità e sulla formazione attraverso la cooperazione tra pubblico privato. Il 15 gennaio, presso la Biblioteca Nazionale Centrale di Roma, è stato presentato il Polo Formativo per i Beni e le attività culturali, promosso dalla Regione Lazio.

I Poli Formativi sono finanziati con oltre 2.700.000 euro dalla Regione che ne ha individuati tredici di concerto con le parti sociali e istituzionali locali. Si tratta di raggruppamenti di soggetti (istituzioni scolastiche, enti di formazione, centri di ricerca, università ed imprese) ai quali viene af-

fidata, sulla base di una programmazione pluriennale e su obiettivi di eccellenza, la realizzazione di percorsi di istruzione e formazione tecnica superiore.

Il progetto del Polo, partito il 5 novembre scorso, vede coinvolta una rete di 25 part-

ner e prevede due corsi gratuiti di istruzione e formazione tecnica superiore post diploma: Rilievo architettonico e diagnosi del degrado strutturale e superficiale dei beni architettonici; Realizzazione di percorsi didattici museali.

StapeliaTM è un lampione fotovoltaico sviluppato presso il Centro Ricerche di Portici (design Alessandra Scognamiglio, progetto esecutivo Carmine Cancro, progetto elettrico Fabrizio Formisano) che genera l'energia che consuma, nato dalla volontà di proporre una valida alternativa ai lampioni solari standard – non soddisfacenti da un punto di vista formale – soprattutto nel caso in cui si intervenga in contesti pregevoli dal punto di vista storico, o archeologico, o ambientale, così come nei centri delle città storiche. Si è cercata una piena sintesi tra le diverse funzioni integrate nel componente attraverso una attento design del sistema ed il controllo dell'immagine finale.

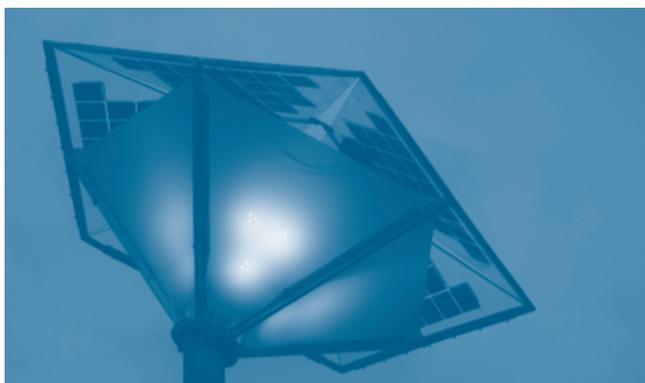
Nome e forma traggono origine dall'omonimo fiore tropicale, dotato di cinque petali triangolari che si chiudono a formare un pentagono durante la notte, per poi aprirsi in un motivo a stella durante il giorno.

La corolla del fiore poggia su di uno stelo alto cm600, è composta da cinque petali triangolari costituiti da moduli vetro-vetro, con celle in silicio monocristallino blu scuro sorretti da una struttura in carpenteria metallica di forma pentagonale.

Al centro del fiore, corrispondente al "pistillo", un doppio box piramidale può contenere l'alloggiamento dell'apparato elettrico nella parte superiore, mentre sulle superfici esterne della metà inferiore sono alloggiati tre led a basso consumo per ogni faccia del pistillo. Al fine di consentire una illuminazione diffusa e piacevole, in corrispondenza dei profili inferiori del fiore sono stati alloggiati dei fogli di Plexiglas opalino che funzionano come superfici diffusive e corrispondono al calice del fiore.

Stapelia è stata protetta come modello di utilità, modello industriale, ed anche il nome è stato depositato insieme ad un marchio di identificazione grafica. È stata anche depositata richiesta di estensione internazionale del brevetto.

Nello scorso mese di giugno è stato sottoscritto un accordo per la concessione in licenza del brevetto Stapelia tra ENEA e la Caldani Srl previa l'ottimizzazione e l'industrializzazione del componente. Attualmente la Caldani è pronta alla produzione e commercializzazione dei primi esemplari di Stapelia. La scheda tecnica può essere richiesta alla ditta stessa.



## Comunicare con gli eventi

### Riflessioni e casi di eccellenza

A cura di Sergio Cherubini, Simo-  
netta Pattuglia

FrancoAngeli, dicembre 2007, pa-  
gine 128, euro 13,00

Il volume fa seguito ad una giornata di studio che si è svolta all'ENEL il 13 dicembre scorso, presenti gli autori del volume (vedi *Energia, Ambiente e Innovazione* n. 6/07 pag. 94), organizzata per mettere a sistema il ruolo della comunicazione negli eventi e gli eventi nella comunica-

zione.

Come spiega il prof. Luigi Paganetto nella Premessa, gli eventi sono un elemento centrale che pervade la nostra vita e sono di varie tipologie: sportivi, congressuali, religiosi, dello spettacolo, musicali, politici, e quelli che sono tra la politica e lo spettacolo, come per esempio le "Notti Bianche". Oggi è la tecnologia, cambiando a gran velocità, a influenzare potentemente il modo di far comunicazione e quindi di gestire una organizzazione complessa quale l'evento.

Risulta perciò particolarmente interessante, stante la continua crescita degli investimenti in comunicazione, ricercare le relazioni più efficaci e bidirezionali per arrivare sul fronte degli eventi ad un'efficacia comunicativa di qualità e quantità, evidenziandone anche la complessità e la necessaria professionalità.

Frutto dell'attività di ricerca sviluppata nel Master in Economia e Gestione della Comunicazione e dei Media, e in collegamento con il Progetto di Interesse Nazionale-MIUR e le iniziative dell'Accademia Italiana di Economia Aziendale (AIDEA), il volume si rivolge ai comunicatori di marketing e vendita, agli specialisti delle agenzie e dei centri media, agli organizzatori di eventi nonché agli studenti di marketing e comunicazione pre e post laurea.

A sottolineare che comunicare con gli eventi può essere una scelta funzionale al marketing relazionale, vengono presentate alcune esperienze fra le più significative in Italia: la RAI con i

Festival di Sanremo, RAI Cinema con il Festival di Venezia, l'ENEL con l'Estate di Raffaello, l'Unilever con il Cornetto Free Musica Festival, l'Ericsson con il Programma Ego, la FIGC con la Candidatura al Campionato Europeo di calcio 2012, Capitalia con "Un nuovo modo di fare banca", RaiTrade con Cartoons on the Bay, Zètema con la Notte Bianca romana e l'opera Luxometro, Lottomatica con il Lotto e le lotterie istantanee e differite.

## Petrolio e dopo?

### Contro le false tesi sulla fine dell'oro nero

Riccardo Varvelli

ETAS, marzo 2007, pagine 194,  
euro 15,00

Contro le false tesi sulla fine dell'oro nero l'autore, professore di Produzione e trasporto degli idrocarburi ed Economia energetica al Politecnico di Torino, propone una lettura degli ultimi cinquanta anni dei consumi energetici mondiali ed esplora le alternative di sviluppo dei prossimi cinquanta anni, adottando un sottotitolo non privo di originalità polemica.

La sua tesi, in controtendenza al cosiddetto catastrofismo energetico e sostenuta da una chiara visione delle dinamiche economiche, vuole dimostrare che non ci sarà alcuna fine del petrolio ma soltanto la fine dell'era del petrolio.

Le energie alternative sostituiranno gradatamente e senza discontinuità il petrolio, ma almeno fino alla fi-

## Lecture

### Comunicare con gli eventi

### Petrolio e dopo?

### Te lo dico con parole tue

### Ambiente urbano



ne di questo secolo l'energia dominante sarà il gas. Insomma la prossima era energetica non sarà rappresentata dall'energia solare, dall'eolica, dalla geotermica, dall'idraulica, dalla biomassa e men che mai dall'idrogeno, ma sarà rappresentata dal gas naturale.

"Ho scritto questo libro con molta passione sapendo di sostenere una tesi in controtendenza - scrive nelle conclusioni l'autore - ma affrontare il dopo petrolio senza preconcetti aiuta a ragionare laicamente sul tema/problema del futuro dell'energia, che corrisponde in larga misura al futuro dell'umanità. Ben venga l'era dell'energia rinnovabile e non inquinante; e poiché sono già conosciute le fonti alternative a quelle attuali, non rinnovabili e inquinanti, è giusto procedere nella loro sostituzione. Tuttavia questa sostituzione richiederà tempi molto lunghi: forse un secolo o più".

## Te lo dico con parole tue

### La scienza di scrivere per farsi capire

Piero Bianucci Zanichelli, 2008,  
pagine 204, euro 9,80

Comunicare in modo chiaro è un'arte difficile e lo è ancora di più se la comunicazione riguarda argomenti scientifici. Comunicare e divulgare (divulgare = diffondere tra il volgo, rendere noto) in modo semplice e comprensibile ai più argomenti spesso complessi (si pensi a temi, quali la clonazione di cellule di embrioni umani, gli organismi geneticamente modificati, i

cambiamenti climatici, l'energia nucleare ecc.) richiede una corretta informazione scientifica.

Il libro di Piero Bianucci è un "piccolo manuale" per scrivere in modo comprensibile, rivolto a tutti ma in particolare a chi si occupa di scienza (giornalisti scientifici, ma anche ricercatori). Scrive l'autore nelle prime pagine "I risultati della ricerca sono così incalzanti e complessi da porre l'esigenza di un'educazione permanente per tutti i cittadini che vogliono realmente essere tali: cioè soggetti capaci di scelte autonome e mature". Purtroppo l'informazione scientifica rappresenta solo una piccola percentuale delle notizie che quotidianamente i media ci comunicano. Secondo uno studio del 2002 i cinque maggiori quotidiani italiani, che rappresentano il 50% delle copie totali vendute, dedicavano l'1,6% dello spazio alla scienza, contro il 10% dello sport, e il valore scientifico degli articoli era basso nella maggior parte dei casi. Chi si occupa di comunicazione scientifica dovrà sempre tenere presente le cinque W sintetizzate dal giornalismo anglosassone: *Who, Where, When, What, Why*, (chi, dove, quando, che cosa, perché), ma dovrà anche tener presente che la notizia scientifica possiede due caratteristiche che la distinguono da tutte le altre e che sono punti di forza nella comunicazione: la durata e il fascino intrinseco. Una notizia scientifica può durare anni, decenni o addirittura secoli (si pensi alle scoperte dei raggi X nel 1896, del neutrone nel 1932,

della fissione nucleare nel 1939 della struttura a doppia elica del DNA nel 1953, e così via), e nello stesso tempo è "sexy", ossia contiene elementi di fascino utili a suscitare curiosità e interesse nel lettore, che sta al comunicatore saper utilizzare e sfruttare. Certo, la divulgazione scientifica sarà tanto migliore quanto più riuscirà ad avvicinarsi alla semplicità senza perdere in problematicità, cioè in complessità. L'autore a questo riguardo fornisce una serie di indicazioni interessanti su come utilizzare le diverse forme giornalistiche: dalla cronaca, all'intervista, all'inchiesta, al racconto scientifico. D'altra parte fornisce una serie di "ricette" per scrivere meglio, che possono sembrare scontate ma che, se usate correttamente, non solo faranno risparmiare tempo all'autore, ma lo aiuteranno molto ad essere chiaro. Le ricette riguardano la definizione del *target*, l'uso del riassunto, della scaletta, dei modi dell'attacco, dello sviluppo, delle parole. Per valutare in modo oggettivo se un articolo è di facile lettura ed è chiaro esistono del resto vari indici di leggibilità, da quello di Flesh, formulato nel 1949, che adotta due criteri molto semplici: un testo è tanto più leggibile quanto più brevi sono le parole che lo compongono e un testo è tanto più leggibile quanto più brevi sono le frasi; a quello più complesso di Tullio De Mauro del 1993 che tiene anche conto del grado di cultura del destinatario. Un tema importante affrontato nel libro è quello relativo al rapporto tra scienza



e coscienza. Il giornalismo scientifico non ha un'etica e una deontologia proprie, tuttavia ha una sua specificità che gli deriva da una certa "diversità" della notizia scientifica sopra citata: il rigore, la durata nel tempo, l'impatto emotivo. I principi su cui il giornalista scientifico dovrebbe fondare la propria attività, riassunti da Edmund Lambeth in un saggio sull'etica della comunicazione, sono cinque: verità, giustizia, libertà, umanità, responsabilità. In Italia l'informazione scientifica, secondo Bianucci, assume particolare importanza, sia perché gli investimenti in ricerca nel nostro Paese sono tra i più bassi in ambito UE, sia per l'alto tasso di conflittualità intorno alle tecnologie avanzate (cellule staminali, fecondazione assistita, energia nucleare, treni ad alta velocità, OGM, inceneritori, centrali elettriche) che rischia di portarci fuori dalla competizione internazionale.

Il messaggio centrale di Bianucci deve far riflettere perché "senza diffusione del sapere scientifico non c'è democrazia. Possono esserci soltanto dittatura o demagogia, o entrambe le cose insieme, anche se si va a votare liberamente."

(Flavio Giovanni Conti)

## Ambiente urbano

### Introduzione all'ecologia urbana

Giuseppe Gisotti

Dario Flaccovio Editore, Collana SIGEA di geologia ambientale  
Palermo, 2007, pagine 515, euro 40,00

Le grandi città presentano un ampio spettro di problemi

ambientali che possono essere oggetto di previsione e prevenzione.

Il volume vuole mettere in evidenza come la pianificazione urbanistica e ambientale, sia per le città in declino che per quelle in rapida espansione, richieda con urgenza un significativo contributo delle scienze ambientali. Questo sia per assicurare una migliore qualità della vita che per contrastare la minaccia di eventi catastrofici quali inondazioni, frane, terremoti, epidemie, *blackout*, crolli di edifici per deficienze strutturali, incendi ecc. Va da sé che queste considerazioni non possono essere disgiunte da valutazioni socio-economiche, storiche e politiche.

Il libro si pone come obiettivo l'approccio ecologico alla città poiché affronta il sistema urbano sotto l'ottica dei suoi cicli bio-geo-chimici, con l'intento di mostrare non solo la struttura e le funzioni di un ecosistema *sui generis* qual è quello urbano, ma anche i processi antropici che portano all'inquinamento urbano e i modi per ridurre, attraverso una politica degli spazi verdi, della tutela degli habitat, del risparmio energetico, della accorta gestione della mobilità urbana, il pesante impatto sui cittadini del loro stesso stile di vita.

Parlare, come fa il sottotitolo, di introduzione all'ecologia urbana vuole qui dire che esistono analogie fra la città e un ecosistema naturale, ma anche che vi sono forti differenze: un ecosistema naturale è un sistema equilibrato, del quale si riesce a comprendere la struttura e il funzionamento

mentre, per la città, questo approccio non funziona o funziona male; in un ecosistema naturale esiste un limite alla crescita, mentre sembra che la crescita delle città mondiali sia illimitata. Il tentativo di applicare le leggi dell'ecologia al sistema urbano non deve essere, perciò, una pura esercitazione accademica, un modo per cercare di individuare la struttura e il funzionamento di un sistema complesso allo scopo di gestirlo e migliorarlo, perché in questo sistema si vive, con grandi problemi e pericoli, in altre parole un "approccio integrato tra gli aspetti socio-economici e quelli ambientali" deve trasformarsi in "azioni di governo" senza restare solo "azioni speculative".

L'autore, docente di scienza del suolo e di geografia dell'ambiente e del paesaggio, con questo volume affronta in modo pratico le diverse aree problematiche attraverso esempi concreti di applicazione delle metodologie di volta in volta proposte (casi di studio), e nell'ultimo capitolo illustra le proposte per una città sostenibile.